

Uloga komunikacijskih sustava u sigurnosti i efikasnosti zračnog prometa

Stručni članak

Marija Prskalo, mag. ing. el.¹

Adnan Šahić, mag. ing. saob. i kom.²

Sažetak

Zračni promet je ključan za povezanost na međunarodnoj i nacionalnoj razini, a sigurnost i efikasnost operacija ovise o naprednim komunikacijskim sustavima koji omogućuju učinkovitu razmjenu podataka među pilotima, kontrolorima letenja i zračnim lukama. Sigurnost zahtijeva preciznu koordinaciju, dok efikasnost ovisi o optimizaciji letnih ruta i smanjenju kašnjenja. Osim što doprinosi sigurnosti, napredna komunikacija omogućava brže donošenje odluka, što poboljšava ukupnu efikasnost sustava. Integracija novih tehnologija, poput naprednih komunikacijskih mreža i automatiziranih sustava, ključna je za daljnje unapređenje zračnog prometa.

Ključne riječi: zračni promet, komunikacijski sustavi, sigurnost, efikasnost.

¹ Agencija za pružanje usluga u zračnoj plovidbi Bosne i Hercegovine, e-mail: marija.prskalo@bhansa.gov.ba

² Agencija za pružanje usluga u zračnoj plovidbi Bosne i Hercegovine, e-mail: adnan.sahic@bhansa.gov.ba

1. Uvod

Zračni promet je ključni element globalne povezanosti, omogućujući učinkovitu mobilnost ljudi i roba diljem svijeta. S obzirom na njegovu kompleksnost, sigurnost i efikasnost operacija u zračnom prometu postavljaju visoke zahtjeve prema tehnološkim i operativnim sustavima. Komunikacijski sustavi u zračnom prometu predstavljaju ključnu komponentu operativnih sustava jer omogućuju neprekidnu i preciznu razmjenu podataka između svih dionika – pilota, kontrolora zračnog prometa, zračnih luka i drugih operativnih čimbenika. Ovi sustavi osiguravaju pravovremene informacije koje su ključne za donošenje odluka, koordinaciju, upravljanje letovima te sprječavanje nesreća i kašnjenja.

Sigurnost u zračnom prometu je apsolutni prioritet, jer najmanja greška ili kašnjenje u komunikaciji može imati ozbiljne posljedice. Komunikacija u stvarnom vremenu omogućuje kontrolu i koordinaciju letova, smanjenje rizika od nesreća i brzu reakciju u izvanrednim situacijama. S druge strane, efikasnost zračnog prometa također ovisi o kvaliteti komunikacijskih sustava. Optimizacija letnih ruta, smanjenje vremena čekanja, smanjenje kašnjenja i bolje iskorištavanje zračnih resursa mogu se postići primjenom naprednih komunikacijskih tehnologija i međunarodnih zračnih prometnih standarda.

Međunarodni standardi i regulative definiraju smjernice za implementaciju i održavanje sigurnosnih i operativnih standarda u zračnom prometu. Ovi standardi uključuju usklađivanje komunikacijskih kanala, sigurnosnih protokola, nadogradnje sustava i redovito testiranje tehnologije, čime se osigurava sigurnost i efikasnost operacija.

Komunikacijski sustavi koji podržavaju zračni promet neprestano se razvijaju kako bi odgovorili na izazove modernizacije, rastući broj letova, veću gustoću zračnog prometa te nove tehnologije. Napredne tehnologije poput satelitskih sustava i radara mogu značajno poboljšati sigurnost i efikasnost u zračnom prometu, ali to također zahtijeva ulaganja u infrastrukturu i stalnu obuku kadrova. S obzirom na globalnu povezanost i dinamičnost sektora, učinkovita implementacija komunikacijskih sustava zahtijeva ne samo tehničke inovacije, već i međunarodnu suradnju i usklađivanje normi i standarda. Povećanje efikasnosti zračnog prometa i osiguranje visokih sigurnosnih standarda mogući su samo kroz koordinirane napore zrakoplovne industrije, regulatornih tijela i tehnoloških razvojnih organizacija.

2. Sigurnost i efikasnost u zračnom prometu

Zračni promet je, uz sve prednosti globalnog povezivanja, jedan od najzahtjevnijih sektora kada je riječ o sigurnosti. Sigurnost (engl. Safety) u zrakoplovstvu predstavlja stanje u kojem su rizik od ugrožavanja života i zdravlja ljudi te prouzrokovanja štete imovini smanjeni i održavani na prihvatljivom nivou, stalnim uočavanjem opasnosti i kontrolom rizika od uočenih opasnosti. (Čokorilo, 2020)

Zrakoplovna industrija koristi sveobuhvatan pristup koji uključuje upravljanje rizicima, obuku osoblja, tehnološke inovacije i međunarodnu suradnju kako bi osigurala visoke sigurnosne standarde. Uz sigurnost, efikasnost zračnog prometa također je od presudne važnosti jer doprinosi smanjenju operativnih troškova, skraćivanju vremena putovanja i smanjenju negativnog utjecaja na okoliš. Razvoj novih tehnologija, poput naprednih sustava za upravljanje zračnim prometom (engl. Air Traffic Management - ATM), smanjuje kašnjenja i povećava kapacitet zračnog prostora. Automatizirani sustavi i digitalizacija omogućuju preciznije praćenje zrakoplova, smanjujući rizik od ljudskih pogrešaka, a sustavi za predviđanje vremenskih uvjeta dodatno poboljšavaju sigurnost, sprječavajući nesreće uzrokovane nepovoljnim uvjetima.

Svaka promjena koja se provodi u sustavima za upravljanje zračnim prometom mora uvijek uzeti u obzir sigurnost jer se ona ne smije ugroziti u nastojanju za većom efikasnošću. Međutim, nije moguće optimizirati sigurnost kao takvu. Ako bi se pokušalo osigurati 100% sigurnosti u sustavima za upravljanje zračnim prometom, to bi se moglo postići jedino prizemljivanjem svih zrakoplova. (Todov, Petrov, 2017)

Sigurnost u zračnom prometu ne uključuje samo fizičke aspekte poput tehnologije i infrastrukture, već i ljudski faktor. Zdrava kultura sigurnosti aktivno traži poboljšanja, stalno je svjesna potencijalnih opasnosti i koristi sustave i alate za kontinuirani nadzor, analizu i istraživanje. Takva kultura mora biti prisutna u državnim zrakoplovnim organizacijama, kao i u organizacijama koje pružaju proizvode i usluge u zračnom prometu. Ostale značajke kulture sigurnosti uključuju zajedničku predanost osoblja i menadžmenta u ispunjavanju odgovornosti za sigurnost, povjerenje u sigurnosni sustav te jasno definirani skup pravila i politika. (ICAO, 2013)

U konačnici, efikasnost i sigurnost zračnog prometa međusobno se nadopunjuju. Napredna tehnologija ne samo da povećava efikasnost i smanjuje operativne troškova, već i poboljšava sigurnosne standarde, čime se jača povjerenje u zračni promet kao najsigurniji oblik prijevoza. Tehnologija, osobito u obliku komunikacijskih sustava, igra bitnu ulogu u održavanju sigurnosti i efikasnosti. S obzirom na globalnu povezanost i stalnu rastuću potražnju za zračnim

prijevozom, suradnja među regulatornim tijelima, industrijskim organizacijama i tehnologijama bit će ključna za postizanje održive sigurnosti i efikasnosti. Za ostvarenje ciljeva sigurnosti i efikasnosti u zračnom prometu, ključno je osigurati integraciju novih komunikacijskih tehnologija u postojeće sustave. Istovremeno, usklađivanje s međunarodnim standardima i normama jamči globalnu interoperabilnost i usklađenost sa sigurnosnim protokolima, što je temelj za održavanje visoke razine sigurnosti i efikasnosti na globalnoj razini.

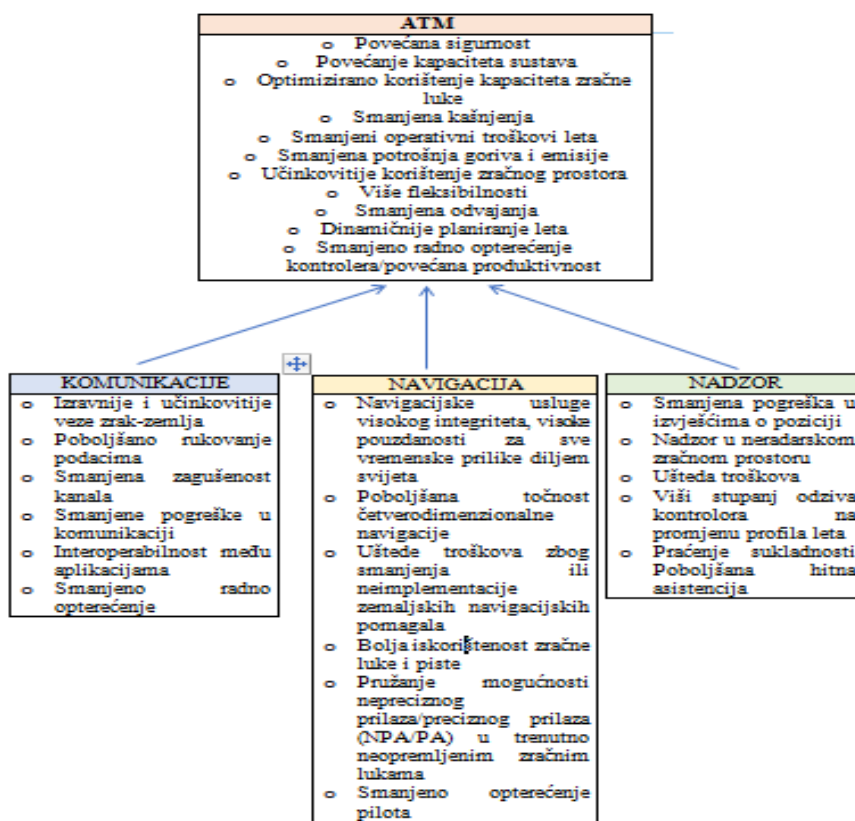
3. Vizija i misija provedbe CNS sustava

U avijaciji općenito, a posebno u upravljanju zračnim prometom nemoguće je razdvajati parcijalno sisteme jedan od drugog, a da se pri tome sigurnost odvijanja prometa ne dovede u pitanje. Svi sistemi i tehnologije koje se koriste u upravljanju zračnim prometom nose jedinstvenu oznaku CNS (engl. Communications, Navigation, and Surveillance). Definicija ovih sistema najbolje je predložena od strane Međunarodne organizacije civilnog zrakoplovstva (ICAO), a glasi: „Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi koji koriste digitalne tehnologije, uključujući satelitske sustave zajedno s različitim razinama automatizacije, koji se primjenjuju kao podrška besprijekornom globalnom sustavu upravljanja zračnim prometom“. (ICAO, 2002)

Nema sumnje da je osnovna i glavna vizija CNS sustava da potiče implementaciju besprijekornog, globalnog sustava upravljanja zračnim prometom koji će omogućiti operaterima zrakoplova da ispoštuju planirano vrijeme odlaska i dolaska i pridržavaju se željenih profila leta uz minimalna ograničenja i bez ugrožavanja dogovorenih razina sigurnosti. Također, misija je razviti besprijekoran, globalno koordiniran sustav usluga zračne plovidbe koji će se nositi s rastom potražnje u zračnom prometu širom svijeta uz:

- poboljšanje sadašnje razine sigurnosti;
- poboljšanje sadašnjih razina regularnosti;
- poboljšanje sveukupne učinkovitosti zračnog prostora i operacija zračne luke, što dovodi do povećanja kapaciteta;
- povećanje dostupnosti rasporeda letova i
- minimiziranje različitih zahtjeva za prijenos opreme između regija.

Ovaj sažetak općenito opisuje pristup ICAO-a prema planiranju za implementaciju sustava komunikacija, navigacije i nadzora/upravljanja zračnim prometom (CNS/ATM) na globalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini, s ciljem spajanja cjelokupnog planiranja u koherentnu, jedinstvenu strategiju. Pogled na visoku razinu očekivanih prednosti ovih sistema ilustriran je na Slici1.



Slika 1. Pogled na visoku razinu očekivanih prednosti novih sustava (Izvor: ICAO, 2002)

3.1. Značaj komunikacija kontrole zračnog prometa

Komunikacije kontrole zračnog prometa ključne su za održavanje sigurnosti i efikasnosti operacija zračnog prometa. Ovi komunikacijski sustavi omogućuju dijalog u stvarnom vremenu između kontrolora zračnog prometa i pilota, olakšavajući koordinaciju kretanja zrakoplova unutar prenatrpanog zračnog prostora. Učinkovita komunikacija smanjuje rizik od incidenata, osiguravajući da zrakoplovi održavaju sigurnu udaljenost jedan od drugog.

Značaj se proteže na povećanje situacijske svijesti i za pilote i za kontrolore zračnog prometa. Putem jasne komunikacije, kontrolori mogu pružiti kritična ažuriranja u vezi s vremenskim uvjetima, promjenama u putanjama leta i potencijalnim opasnostima. Ove su informacije neophodne za informirano donošenje odluka u dinamičnim okruženjima, čime se poboljšava ukupna sigurnost i operativna učinkovitost.

Pouzdanost i dostupnost komunikacijskih sustava moraju biti na razini koja minimizira mogućnost kvarova ili značajnih degradacija. Svaki kvar ili

nepravilnost u komunikacijskim sustavima, opremi ili drugim sustavima koji mogu negativno utjecati na sigurnost i efikasnost zračnog prometa mora biti odmah prijavljen. (ICAO, 2007)

Štoviše, komunikacije kontrole zračnog prometa potiču suradnju između različitih dionika u zračnom prometu. Integriranjem različitih komunikacijskih sustava, uključujući govorne i podatkovne veze, upravljanje zračnim prometom postaje besprijekorno. Ova suradnja promiče sigurnije iskustvo letenja omogućavajući brže odgovore na hitne situacije i sustavno upravljanje prometom.

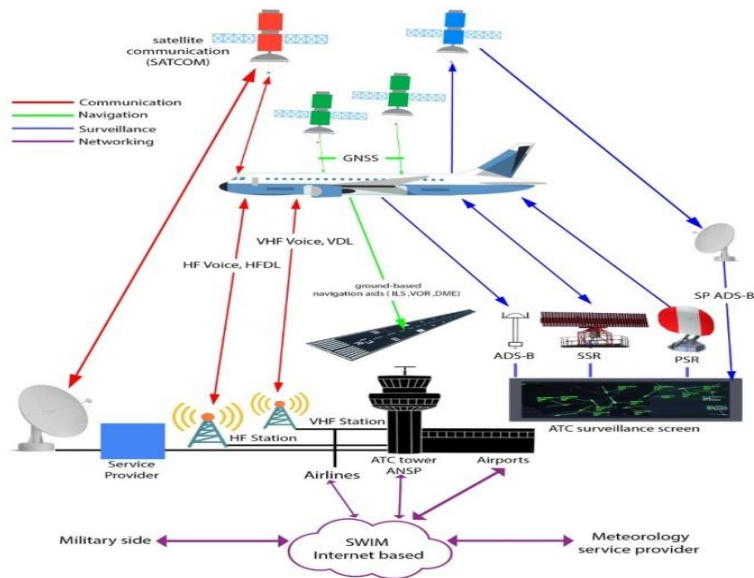
U konačnici, pouzdanost i jasnoća komunikacija kontrole zračnog prometa temeljne su za podršku rastućim zahtjevima zrakoplovne industrije. Kako se zračni promet nastavlja povećavati, važnost ovih komunikacijskih sustava samo će se pojačavati, jačajući njihovu ulogu kamena temeljca učinkovitog upravljanja zračnim prometom.

3.1.1. Komponente komunikacija kontrole zračnog prometa

Komunikacije kontrole zračnog prometa sastoje se od različitih komponenti koje osiguravaju sigurno i učinkovito kretanje zrakoplova. Ovi sustavi olakšavaju vitalne interakcije između kontrolora zračnog prometa i pilota, smanjujući rizik od nesporazuma i poboljšavajući cjelokupno upravljanje zračnim prostorom. Sustavi glasovne komunikacije kamen su temeljac komunikacija kontrole zračnog prometa, koji se tradicionalno oslanjaju na VHF (engl. Very High Frequency) radio frekvencije za dijalog u stvarnom vremenu. Ovi sustavi omogućuju kontrolorima prenošenje ključnih uputa, uključujući odobrenja, ažuriranje vremenske prognoze i navigacijsko vođenje. (EUROCONTROL/FAA, 2007)

Komunikacije putem podatkovne veze predstavljaju modernu evoluciju, omogućujući razmjenu unaprijed formatiranih poruka između pilota i kontrolora zračnog prometa. Tehnologije poput Automatic Dependent Surveillance-Contract (ADS-C) koriste ovu metodu, značajno povećavajući preciznost dijeljenih informacija. (Aeroplane Tech, 2024)

Automatizirani sustavi igraju bitnu ulogu u učinkovitom upravljanju zračnim prometom. Ovi sustavi pomažu u praćenju kretanja zrakoplova i integraciji različitih komunikacijskih metoda, osiguravajući da se odluke temelje na podacima u stvarnom vremenu za optimalnu sigurnost i operativne performanse. Pregled većeg broja CNS sistema prikazan je na Slici 2.



Slika 2. Pregled CNS sistema (Izvor: Elmarady & Rahouma, 2021)

Sustavi govorne komunikacije u kontroli zračnog prometa omogućuju dijalog u stvarnom vremenu između kontrolora zračnog prometa i pilota. Korištenjem visokofrekventnih radio prijenosa, ovi sustavi omogućuju prijenos kritičnih informacija, uputa i odobrenja koja su neophodna za siguran rad zrakoplova.

Komunikacije putem podatkovne veze koriste digitalne prijenosne sustave koji omogućuju učinkovitu razmjenu potrebnih informacija o letu između kontrolora zračnog prometa i pilota. Sustav unapređuje tradicionalne metode govorne komunikacije, omogućujući preciznije, jasnije i pouzdanije prijenose podataka.

Automatizirani sustavi u komunikaciji kontrole zračnog prometa odnose se na korištenje tehnologije za usmjeravanje i poboljšanje komunikacijskih procesa između kontrolora zračnog prometa i zrakoplova. Ovi sustavi dizajnirani su za smanjenje kognitivnog opterećenja kontrolora, omogućavajući učinkovitije upravljanje zračnim prometom. Primjeri automatiziranih sustava uključuju automatizirane alate za govornu komunikaciju i transponderske sustave koji pružaju podatke o položaju i statusu zrakoplova u stvarnom vremenu. Ovi sustavi mogu obraditi i prenijeti informacije brže od ručnih metoda, čime se poboljšava ukupna učinkovitost upravljanja zračnim prometom.

3.2. Tehnologije u komunikacijama kontrole zračnog prometa

Komunikacije kontrole zračnog prometa koriste različite napredne tehnologije kako bi osigurale sigurno i učinkovito upravljanje zračnim prometom. Ove tehnologije povećavaju sposobnost kontrolora i pilota da dijele kritične informacije u stvarnom vremenu. Ključne komponente uključuju:

- **Radarska tehnologija:** Koristi se za praćenje položaja zrakoplova, radarski sustavi pružaju vitalne informacije kontrolorima zračnog prometa, olakšavajući točan nadzor putanja leta i osiguravajući razdvajanje između zrakoplova.
- **Satelitske komunikacije:** nudeći globalnu pokrivenost, satelitske komunikacije omogućuju kontinuiranu razmjenu podataka. Ova tehnologija posebno je korisna u udaljenim regijama gdje zemaljski sustavi možda nisu dostupni.
- **Sustavi nadzora:** Integrativni sustavi nadzora povećavaju svijest o situaciji među kontrolorima zračnog prometa. Ovi sustavi konsolidiraju podatke iz više izvora, omogućujući koordinirane odgovore na scenarije dinamičkog leta. (Khalid&Nazneen, 2024)

Ove tehnologije zajedno pridonose učinkovitosti komunikacija kontrole zračnog prometa, potičući poboljšane sigurnosne protokole i operativnu učinkovitost unutar sektora zrakoplovstva.

3.2.1. Međunarodni standardi u komunikacijskim sustavima zračnog prometa

Međunarodni standardi u komunikacijskim sustavima zračnog prometa ključni su za osiguranje globalne sigurnosti, efikasnosti i interoperabilnosti unutar zračnog prometa. Ovi standardi omogućuju neprekidnu i sigurnu komunikaciju između zrakoplova, zračnih kontrolora, zemaljskih usluga i drugih dionika u zračnom prometu. Glavni međunarodni standardi i organizacije koje oblikuju komunikacijske sustave u zračnom prometu uključuju ICAO³, ITU⁴ (Međunarodna telekomunikacijska unija), Eurocontrol⁵, te EASA⁶ (Europska agencija za sigurnost zračnog prometa).

ICAO, kao specijalizirana agencija Ujedinjenih naroda, razvija globalne propise i standarde za civilnu avijaciju koji obuhvaćaju širok raspon aspekata, uključujući sigurnost, operacije, navigaciju i komunikacijske protokole. Ključni dokument za

³ Više na: <https://icao.int/>

⁴ Više na: <https://www.itu.int/>

⁵ Više na: <https://www.eurocontrol.int/>

⁶ Više na: <https://www.easa.europa.eu/en>

usklađivanje međunarodnih standarda je Annex 10: Aeronautical Telecommunications, koji sadrži smjernice i preporučene prakse vezane uz komunikacijske sustave, uključujući VHF frekvencije, satelitske komunikacije i druge tehnologije koje omogućuju sigurnu interakciju između zrakoplova i kontrolora. Također, ICAO definira tehničke specifikacije za radiofrekvencije i protokole koji omogućuju pouzdanu povezanost u globalnom zračnom prostoru, kao što je obuhvaćeno u dokumentu Doc 4444 - Air Traffic Management. (ICAO, 2013)

ITU upravlja globalnim radio frekvencijskim spektrom i telekomunikacijskim normama, omogućujući koordinaciju korištenja frekvencija esencijalnih za zračne komunikacije. Kroz svoj regulatorni okvir, ITU osigurava nesmetanu uporabu VHF frekvencija i razvija smjernice za mobilne komunikacije i satelitske sustave koji omogućuju globalnu povezanost u zračnom prometu. (ITU, 2020)

Eurocontrol koordinira zračni promet u Europi i razvija standarde za komunikaciju i navigacijske sustave. Organizacija se fokusira na optimizaciju zračnog prostora, pružanje usluga zračnim navigacijskim centrima i osiguranje interoperabilnosti svih sustava, uključujući tehnologije za sustavnu razmjenu podataka, kao i satelitsku navigaciju.

EASA surađuje s ICAO i ITU kako bi osigurala usklađivanje europskih komunikacijskih sustava s globalnim normama. Time omogućava sigurno i pouzdano upravljanje zračnim prometom, osiguravajući kontinuitet komunikacije, čak i u kriznim situacijama. (EASA, 2019)

Standardi i tehnički zahtjevi koje uspostavljaju ove organizacije osiguravaju usklađenost i interoperabilnost sustava, čime se ostvaruje visoka razina sigurnosti, pouzdanosti i operativne učinkovitosti. Ovaj okvir omogućava integrirano upravljanje zračnim prometom, smanjuje rizik od nesreća i omogućava optimizaciju globalnih zračnih operacija kroz standardizirane procedure i tehnologije.

4. Izazovi i budućnost komunikacija u kontroli zračnog prometa

Komunikacije kontrole zračnog prometa suočavaju se s nekoliko izazova koji mogu imati značajne implikacije na sigurnost i učinkovitost zračnog prometa. Jedan od istaknutih problema je sve veći obujam prometa, koji stvara pritisak na postojeće komunikacijske sustave. Kako zračni promet raste, kontrolori moraju upravljati s više zrakoplova istovremeno, što dovodi do potencijalnih pogrešaka u komunikaciji.

Dodatni izazov predstavlja oslanjanje na zastarjele tehnologije. Mnogi sustavi kontrole zračnog prometa još uvijek koriste staru opremu koja ne zadovoljava

moderne zahtjeve, što može uzrokovati probleme u brzom i preciznom prijenosu kritičnih informacija. Također, ljudski čimbenici poput stresa, umora i smetnji mogu utjecati na kvalitetu komunikacije, što zahtijeva kontinuirane programe obuke i svijesti kako bi se minimizirali potencijalni rizici.

Osim smjernica ICAO-a, nacionalne zrakoplovne vlasti, kao što je Savezna uprava za zrakoplovstvo (FAA)⁷ u Sjedinjenim Državama, provode posebne propise unutar svojih nadležnosti koji uključuju tehničke zahtjeve, komunikacijske postupke i operativne prakse neophodne za učinkovitu komunikaciju kontrole zračnog prometa. Usklađenost s tim propisima osigurava optimalno funkcioniranje komunikacijskih sustava, povećavajući sigurnost i pouzdanost zračnog putovanja.

Budućnost komunikacija kontrole zračnog prometa bit će oblikovana napretkom u umjetnoj inteligenciji i satelitskoj tehnologiji. Očekuje se da će umjetna inteligencija poboljšati procese donošenja odluka, omogućujući brže odgovore na dinamične situacije u zračnom prometu. Ova integracija može dovesti do optimiziranih putanja leta i poboljšane komunikacije između kontrolora zračnog prometa i pilota.

Napredak satelitske tehnologije također će igrati ključnu ulogu u komunikaciji kontrole zračnog prometa. Poboljšani satelitski sustavi omogućit će točniji prijenos podataka, povećavajući pouzdanost komunikacije u različitim zemljopisnim regijama. Ovo je ključno jer zračni promet nastavlja rasti diljem svijeta, zahtijevajući robusniju komunikacijsku infrastrukturu.

Ukratko, evoluciju komunikacija kontrole zračnog prometa potaknut će inovativne tehnologije, utirući put sigurnijem i efikasnijem zračnom prometu u godinama koje dolaze. Integracija umjetne inteligencije u komunikaciju kontrole zračnog prometa predstavlja transformativni napredak u upravljanju sigurnošću i efikasnošću zračnog prostora. Tehnologije umjetne inteligencije mogu analizirati ogromne količine podataka koje generiraju zrakoplovi i prometni sustavi u stvarnom vremenu, omogućujući donošenje odluka s više informacija.

Putem sustava glasovne komunikacije, kontrolori mogu trenutačno pružiti pilotima ključna ažuriranja, omogućujući pravovremeno donošenje odluka. Isto tako, komunikacija podatkovnom vezom služi za isporuku informacija izravno sustavima zrakoplova, smanjujući opterećenje pilota i omogućavajući bolju svijest o situaciji. Integracija programa obuke za osoblje uključeno u komunikacije kontrole zračnog prometa dodatno povećava ukupnu sigurnost. Poticanjem kulture učinkovite komunikacije, zainteresirane strane u

⁷ Više na: <https://www.faa.gov/>

zrakoplovstvu mogu minimizirati rizike i povećati pouzdanost sustava upravljanja zračnim prostorom.

U zaključku, unaprjeđenje komunikacijskih sustava u zračnom prometu ključno je za osiguranje visoke razine sigurnosti i operativne efikasnosti. Modernizacija tih sustava, kroz integraciju naprednih tehnologija i usklađivanje s međunarodnim standardima, omogućit će bolju koordinaciju među dionicima, smanjenje operativnih kašnjenja te osiguranje veće pouzdanosti u globalnom zračnom prostoru. Ovaj razvoj bit će temelj za budući napredak i optimizaciju zračnog prometa, čime će se dodatno smanjiti rizici i povećati efikasnost u svakodnevnim operacijama.

Literatura

1. Aeroplane Tech Editorial Team, 2024. Understanding Air Traffic Control Communications For Safety.
2. Čokorilo, O., 2020. Bezbednost vazduhoplova. Beograd: Univerzitet u Beogradu.
3. EASA, 2019. EU Regulations on Air Traffic Management and Communication Systems. European Union Aviation Safety Agency.
4. Elmarady, A.A. & Rahouma, K., 2021. Studying cybersecurity in civil aviation, including developing and applying aviation cybersecurity risk assessment. IEEE Access, 9, 143997–144016.
5. EUROCONTROL/FAA. 2007. Communications Operating Concept and Requirements for the Future Radio System. European Organisation For The Safety Of Air Navigation/ Federal Aviation Administration.
6. ICAO, 2007. Doc 4444. Air Traffic Management. International Civil Aviation Organization.
7. ICAO, 2002. Doc 9750 AN/963. Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, Second Edition. International Civil Aviation Organization.
8. ICAO, 2013. Annex 10: Aeronautical Telecommunications Volume III – Communication Systems. International Civil Aviation Organization.
9. ICAO, 2013. Safety management manual (SMM). International Civil Aviation Organization.
10. ITU, 2020. Radio Regulations. International Telecommunication Union.
11. Khalid, S. & Nazneen, N., 2024. New Innovations In AI, Aviation And Air Traffic Technology. IGI Global Publisher
12. Todorov, T. & Petrov, P., 2017. Measuring the efficiency of air traffic management systems. MATEC Web of Conferences 133, 01004.
Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/320915160_Measuring_the_efficiency_of_air_traffic_management_systems (Pristupljeno: 2.12.2024.)

The role of communication systems in the safety and efficiency of air traffic

Expert article

Marija Prskalo, M.Sc. in Electrical Engineering.¹

Adnan Šahić, mag. Eng. communication and com.²

Abstract

Air traffic is essential for international and national connectivity, and the safety and efficiency of operations depend on advanced communication systems that enable the efficient exchange of data between pilots, air traffic controllers and airports. Safety requires precise coordination, while efficiency depends on optimizing flight routes and reducing delays. In addition to contributing to safety, advanced communication enables faster decision-making, which improves the overall efficiency of the system. The integration of new technologies, such as advanced communication networks and automated systems, is essential for further improving air traffic.

Keywords: *air traffic, communication systems, safety, efficiency.*

¹ Air Navigation Services Agency of Bosnia and Herzegovina, e-mail: marija.prskalo@bhansa.gov.ba

² Air Navigation Services Agency of Bosnia and Herzegovina, e-mail: adnan.sahic@bhansa.gov.ba

1. Introduction

Air transport is a key element of global connectivity, enabling the efficient mobility of people and goods around the world. Given its complexity, safety and efficiency, air transport operations place high demands on technological and operational systems. Air transport communication systems are a key component of operational systems because they enable continuous and accurate data exchange between all stakeholders – pilots, air traffic controllers, airports and other operational factors. These systems provide timely information that is essential for decision-making, coordination, flight management and the prevention of accidents and delays.

Air traffic safety is an absolute priority, as the slightest error or delay in communication can have serious consequences. Real-time communication enables flight control and coordination, reduces the risk of accidents and allows for rapid response in emergency situations. On the other hand, the efficiency of air traffic also depends on the quality of communication systems. Optimization of flight routes, reduction of waiting times, reduction of delays and better utilization of air resources can be achieved by applying advanced communication technologies and international air traffic standards.

International standards and regulations define guidelines for the implementation and maintenance of safety and operational standards in air transport. These standards include the harmonisation of communication channels, security protocols, system upgrades and regular testing of technology, thus ensuring the safety and efficiency of operations.

Communication systems supporting air traffic are constantly evolving to meet the challenges of modernization, increasing flight numbers, higher air traffic density and new technologies. Advanced technologies such as satellite systems and radar can significantly improve air traffic safety and efficiency, but this also requires investment in infrastructure and ongoing training of personnel. Given the global connectivity and dynamism of the sector, the effective implementation of communication systems requires not only technical innovation, but also international cooperation and the harmonisation of norms and standards. Increasing the efficiency of air traffic and ensuring high safety standards are only possible through coordinated efforts of the aviation industry, regulatory authorities and technology development organizations.

2. Safety and efficiency in air traffic

Air transport, with all the advantages of global connectivity, is one of the most demanding sectors when it comes to safety. Safety in aviation represents a state in which the risk of endangering human life and health and causing damage to property is reduced and maintained at an acceptable level, through constant detection of hazards and risk control from detected hazards. (Čokorilo, 20 20)

The aviation industry uses a comprehensive approach that includes risk management, staff training, technological innovation and international cooperation to ensure high safety standards. In addition to safety, air traffic efficiency is also crucial, as it contributes to reducing operating costs, shortening travel times and reducing negative environmental impact. The development of new technologies, such as advanced Air Traffic Management (ATM) systems, reduces delays and increases airspace capacity. Automated systems and digitalization allow for more precise aircraft tracking, reducing the risk of human error, and weather forecasting systems further improve safety by preventing accidents caused by adverse conditions.

Any change implemented in air traffic management systems must always take safety into account, as it must not be compromised in the pursuit of greater efficiency. However, it is not possible to optimize safety as such. If one were to try to ensure 100% safety in air traffic management systems, this could only be achieved by grounding all aircraft. (Todov, Petrov, 2017)

Aviation safety involves not only physical aspects such as technology and infrastructure, but also the human factor. A healthy safety culture actively seeks improvements, is constantly aware of potential hazards, and uses systems and tools for continuous monitoring, analysis and research. Such a culture must be present in state aviation organizations, as well as in organizations that provide aviation products and services. Other characteristics of a safety culture include a shared commitment by staff and management to fulfill safety responsibilities, confidence in the safety system, and a clearly defined set of rules and policies. (ICAO, 2013)

Ultimately, air transport efficiency and safety complement each other. Advanced technology not only increases efficiency and reduces operating costs, but also improves safety standards, thereby strengthening confidence in air transport as the safest form of transport. Technology, especially in the form of communication systems, plays an essential role in maintaining safety and efficiency. Given the global connectivity and the ever-increasing demand for air transport, cooperation between regulatory authorities, industry organisations and technologies will be essential to achieve sustainable safety and efficiency. To achieve the goals of

safety and efficiency in air transport, it is essential to ensure the integration of new communication technologies into existing systems. At the same time, compliance with international standards and norms guarantees global interoperability and compliance with safety protocols, which is the basis for maintaining a high level of safety and efficiency at a global level.

3. Vision and mission of the CNS system implementation

In aviation in general, and in air traffic management in particular, it is impossible to partially separate systems from each other without compromising the safety of traffic. All systems and technologies used in air traffic management bear the unique designation CNS (Communications, Navigation, and Surveillance). The definition of these systems is best presented by the International Civil Aviation Organization (ICAO), which reads: "Communications, navigation, and surveillance systems using digital technologies, including satellite systems together with various levels of automation, which are applied in support of a seamless global air traffic management system". (ICAO, 2002)

There is no doubt that the basic and main vision of the CNS system is to promote the implementation of a seamless, global air traffic management system that will enable aircraft operators to meet scheduled departure and arrival times and adhere to desired flight profiles with minimal restrictions and without compromising agreed safety levels. Also, the mission is to develop a seamless, globally coordinated air navigation service system that will cope with the growth in air traffic demand worldwide by:

- improving the current level of security;
- improving current levels of regularity;
- improving the overall efficiency of airspace and airport operations, leading to increased capacity;
- increasing the availability of flight schedules and
- minimizing different equipment transfer requirements between regions.

This summary broadly describes ICAO's approach to planning for the implementation of communications, navigation and air traffic control/management (CNS/ATM) systems at the global, regional and national levels, with the aim of integrating all planning into a coherent, unified strategy. A high-level view of the expected benefits of these systems is illustrated in Figure 1.

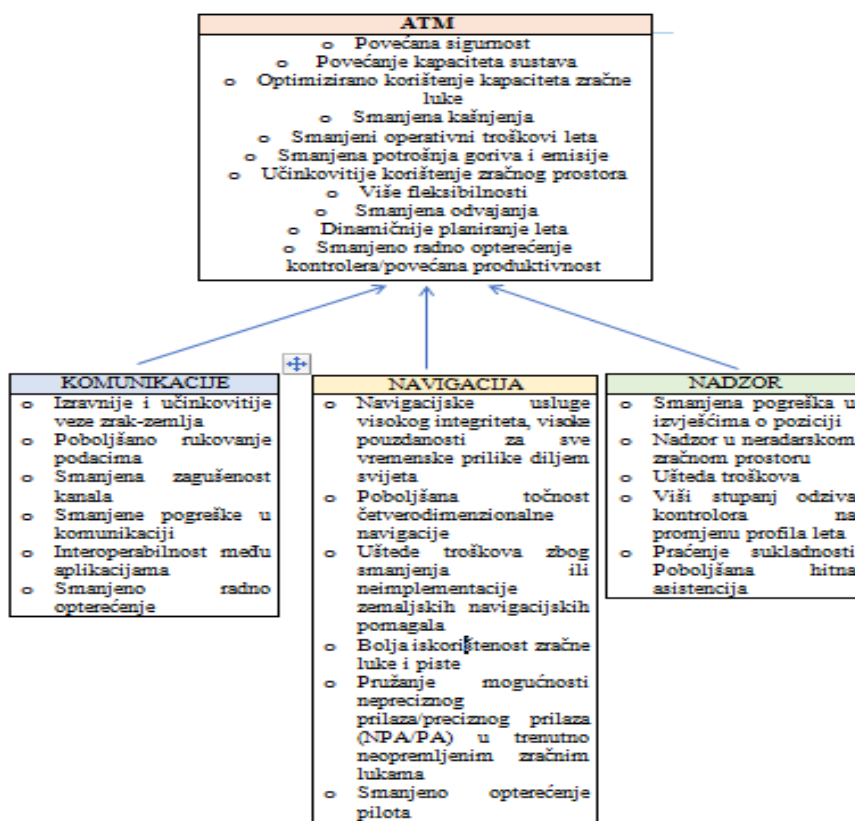


Figure 1A high-level view of the expected benefits of new systems (Source: ICAO, 2002)

3.1. The importance of air traffic control communications

Air traffic control communications are essential for maintaining the safety and efficiency of air traffic operations. These communication systems enable real-time dialogue between air traffic controllers and pilots, facilitating the coordination of aircraft movements within congested airspace. Effective communication reduces the risk of incidents by ensuring that aircraft maintain a safe distance from each other.

The significance extends to increasing situational awareness for both pilots and air traffic controllers. Through clear communication, controllers can provide critical updates regarding weather conditions, changes in flight paths and potential hazards. This information is essential for informed decision-making in dynamic environments, thereby improving overall security and operational efficiency.

The reliability and availability of communication systems must be at a level that minimizes the possibility of failures or significant degradation. Any failure or

irregularity in communication systems, equipment or other systems that may adversely affect the safety and efficiency of air traffic must be reported immediately. (ICAO, 2007)

Moreover, air traffic control communications foster collaboration between different stakeholders in air traffic. By integrating different communication systems, including voice and data links, air traffic management becomes seamless. This collaboration promotes a safer flying experience by enabling faster responses to emergencies and systematic traffic management.

Ultimately, the reliability and clarity of air traffic control communications are essential to supporting the growing demands of the aviation industry. As air traffic continues to increase, the importance of these communication systems will only increase, reinforcing their role as a cornerstone of effective air traffic management.

3.1.1. Air traffic control communication components

Air traffic control communications consist of various components that ensure the safe and efficient movement of aircraft. These systems facilitate vital interactions between air traffic controllers and pilots, reducing the risk of misunderstandings and improving overall airspace management. Voice communication systems are the cornerstone of air traffic control communications, which have traditionally relied on VHF (Very High Frequency) radio frequencies for real-time dialogue. These systems allow controllers to relay key instructions, including clearances, weather updates and navigational guidance. (EUROCONTROL/FAA, 2007)

Data link communications represent a modern evolution, allowing the exchange of pre-formatted messages between pilots and air traffic controllers. Technologies such as Automatic Dependent Surveillance-Contract (ADS-C) use this method, significantly increasing the accuracy of shared information. (Aeroplane Tech, 2024)

Automated systems play a vital role in effective air traffic management. These systems help track aircraft movements and integrate various communication methods, ensuring that decisions are based on real-time data for optimal safety and operational performance. An overview of a number of CNS systems is shown in Figure 2.

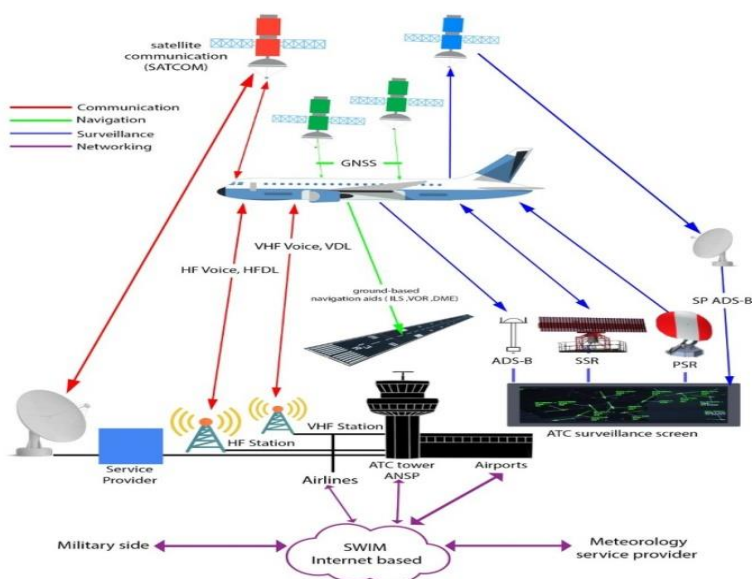


Figure 2. Overview of the CNS system (Source: Elmarady & Rahouma , 2021)

Air traffic control voice communication systems enable real-time dialogue between air traffic controllers and pilots. Using high-frequency radio transmissions, these systems enable the transmission of critical information, instructions, and clearances necessary for the safe operation of aircraft.

Data link communications utilize digital transmission systems that enable the efficient exchange of necessary flight information between air traffic controllers and pilots. The system improves upon traditional voice communication methods, enabling more precise, clear, and reliable data transmissions.

Automated systems in air traffic control communications refer to the use of technology to streamline and improve the communication processes between air traffic controllers and aircraft. These systems are designed to reduce the cognitive load on controllers, allowing for more efficient air traffic management. Examples of automated systems include automated voice communication tools and transponder systems that provide real-time aircraft position and status data. These systems can process and transmit information faster than manual methods, improving the overall efficiency of air traffic management.

3.2. Technologies in air traffic control communications

Air traffic control communications use a variety of advanced technologies to ensure safe and efficient air traffic management. These technologies enhance the ability of controllers and pilots to share critical information in real time. Key components include:

- Radar Technology: Used to track the position of aircraft, radar systems provide vital information to air traffic controllers, facilitating accurate flight path monitoring and ensuring separation between aircraft.
- Satellite communications: Offering global coverage, satellite communications enable continuous data exchange. This technology is particularly useful in remote regions where terrestrial systems may not be available.
- Surveillance Systems: Integrative surveillance systems increase situational awareness among air traffic controllers. These systems consolidate data from multiple sources, enabling coordinated responses to dynamic flight scenarios. (Khalid&Nazneen, 2024)

Together, these technologies contribute to the efficiency of air traffic control communications, driving improved safety protocols and operational efficiency within the aviation sector.

3.2.1. International standards in air traffic communication systems

International standards in air traffic communication systems are essential for ensuring global safety, efficiency and interoperability within air traffic. These standards enable seamless and secure communication between aircraft, air traffic controllers, ground services and other air traffic stakeholders. The main international standards and organizations shaping air traffic communication systems include ICAO ³, ITU ⁴(International Telecommunication Union), Eurocontrol ⁵, and EASA ⁶(European Aviation Safety Agency).

ICAO, as a specialized agency of the United Nations, develops global regulations and standards for civil aviation covering a wide range of aspects, including safety, operations, navigation and communication protocols. The key document for harmonizing international standards is Annex 10: Aeronautical Telecommunications, which contains guidelines and recommended practices related to communication systems, including VHF frequencies, satellite

³More at: <https://icao.int/>

⁴ More at: <https://www.itu.int/>

⁵ More at: <https://www.eurocontrol.int/>

⁶ More at: <https://www.easa.europa.eu/en>

communications and other technologies that enable safe interaction between aircraft and controllers. Also, ICAO defines technical specifications for radio frequencies and protocols that enable reliable connectivity in global airspace, as covered in document Doc 4444 - Air Traffic Management. (ICAO, 2013)

ITU manages the global radio frequency spectrum and telecommunications standards, enabling the coordination of the use of frequencies essential for air communications. Through its regulatory framework, ITU ensures the unhindered use of VHF frequencies and develops guidelines for mobile communications and satellite systems that enable global air traffic connectivity. (ITU, 2020)

Eurocontrol coordinates air traffic in Europe and develops standards for communication and navigation systems. The organization focuses on optimizing airspace, providing services to air navigation centers, and ensuring the interoperability of all systems, including technologies for systematic data exchange, as well as satellite navigation.

EASA works with ICAO and ITU to ensure that European communication systems are aligned with global standards. This enables safe and reliable air traffic management, ensuring continuity of communication, even in crisis situations. (EASA, 2019)

The standards and technical requirements established by these organizations ensure the compatibility and interoperability of systems, thereby achieving a high level of safety, reliability and operational efficiency. This framework enables integrated air traffic management, reduces the risk of accidents and enables the optimization of global air operations through standardized procedures and technologies.

4. Challenges and the future of communications in air traffic control

Air traffic control communications face several challenges that can have significant implications for the safety and efficiency of air traffic. One prominent issue is the increasing volume of traffic, which is putting pressure on existing communication systems. As air traffic increases, controllers must manage more aircraft simultaneously, leading to potential communication errors.

An additional challenge is the reliance on outdated technologies. Many air traffic control systems still use old equipment that does not meet modern requirements, which can cause problems in the rapid and accurate transmission of critical information. Also, human factors such as stress, fatigue and distractions can affect the quality of communication, which requires continuous training and awareness programs to minimize potential risks.

In addition to ICAO guidelines, national aviation authorities, such as the Federal Aviation Administration (FAA) ⁷in the United States, implement specific regulations within their jurisdiction that include technical requirements, communication procedures, and operational practices necessary for effective air traffic control communications. Compliance with these regulations ensures the optimal functioning of communication systems, increasing the safety and reliability of air travel.

The future of air traffic control communications will be shaped by advances in artificial intelligence and satellite technology. Artificial intelligence is expected to improve decision-making processes, enabling faster responses to dynamic air traffic situations. This integration can lead to optimized flight paths and improved communication between air traffic controllers and pilots.

Advances in satellite technology will also play a key role in air traffic control communications. Improved satellite systems will enable more accurate data transmission, increasing the reliability of communications across different geographic regions. This is crucial as air traffic continues to grow worldwide, requiring a more robust communications infrastructure.

In short, the evolution of air traffic control communications will be driven by innovative technologies, paving the way for safer and more efficient air traffic in the years to come. The integration of artificial intelligence into air traffic control communications represents a transformative advance in managing the safety and efficiency of airspace. Artificial intelligence technologies can analyze vast amounts of data generated by aircraft and traffic systems in real time, enabling more informed decision-making.

Through voice communication systems, controllers can provide pilots with critical updates instantly, enabling timely decision-making. Similarly, data link communications serve to deliver information directly to aircraft systems, reducing pilot workload and providing better situational awareness. Integrating training programs for personnel involved in air traffic control communications further enhances overall safety. By fostering a culture of effective communication, aviation stakeholders can minimize risks and increase the reliability of airspace management systems.

In conclusion, improving air traffic communication systems is essential to ensure high levels of safety and operational efficiency. Modernizing these systems, through the integration of advanced technologies and alignment with international standards, will enable better coordination among stakeholders, reduce operational delays, and ensure greater reliability in global airspace. This

⁷ More at: <https://www.faa.gov/>

development will be the foundation for future progress and optimization of air traffic, further reducing risks and increasing efficiency in daily operations.

Literature

1. Airplane Tech Editorial Team, 2024. Understanding Air Traffic Control Communications For Safety.
2. Čokorilo, O., 2020. Aircraft safety. Belgrade: University of Belgrade.
3. EASA, 2019. EU Regulations on Air Traffic Management and Communication Systems . European Union Aviation Safety Agency.
4. Elmarady,AA&Rahouma, K., 2021. Studying cybersecurity in civil aviation, including developing and applying aviation cybersecurity risk assessment. IEEE Access , 9 , 143997–144016.
5. EUROCONTROL/FAA. 2007. Communications Operating Concept and Requirements for the Future Radio System. European Organization For The Safety Of Air Navigation/ Federal Aviation Administration.
6. ICAO, 2007. Doc 4444. Air Traffic Management. International Civil Aviation Organization.
7. ICAO, 2002. Doc 9750 AN/963. Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, Second Edition. International Civil Aviation Organization.
8. ICAO, 2013. Annex 10: Aeronautical Telecommunications Volume III – Communication Systems . International Civil Aviation Organization.
9. ICAO, 2013. Safety management manual (SMM). International Civil Aviation Organization.
10. ITU, 2020. Radio Regulations . International Telecommunication Union.
11. Khalid, S. & Nazneen, N., 2024. New Innovations In AI, Aviation And Air Traffic Technology. IGI Global Publisher
12. Todorov, T. & Petrov.P., 2017. Measuring the efficiency of air traffic management systems. MATEC Web of Conferences 133, 01004.
Available at:
https://www.researchgate.net/publication/320915160_Measuring_the_efficiency_of_air_traffic_management_systems (Accessed: 2/12/2024)