

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Rok Mikulič

**Ocena latence v hipotetičnem podatkovnem omrežju  
nacionalnega nadzornika zračne plovbe**

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE  
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Rok Mikulič

**Ocena latence v hipotetičnem podatkovnem omrežju  
nacionalnega nadzornika zračne plovbe**

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE  
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

Mentor: prof. dr. Miha Mraz

Ljubljana, 2012



Št. naloge: 00249/2012

Datum: 05.04.2012

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **ROK MIKULIČ**

Naslov: **OCENA LATENCE V HIPOTETIČNEM PODATKOVNEM OMREŽJU  
NACIONALNEGA NADZORNIKA ZRAČNE PLOVBE  
ASSESSMENT OF LATENCY IN THE HYPOTHETICAL DATA  
NETWORK OF THE NATIONAL AIR TRAFIC SUPERVISOR**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

Kandidat naj v svojem delu predstavi namen in vrste letalskih komunikacij, njihovo povezovanje v ACARS sisteme, ter najpogosteje uporabljane namenske protokole, ki se uporabljajo na področju letalskih komunikacij. V nadaljevanju naj kandidat izvede oceno latence ali zakasnitve hipotetičnega omrežja našega nacionalnega nadzornika zračne plovbe.

Mentor:

prof. dr. Miha Mraz

Dekan:

prof. dr. Nikolaj Zimic



# IZJAVA O AVTORSTVU

## diplomskega dela

Spodaj podpisani **Rok Mikulič,**

z vpisno številko **63050329,**

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

### **Ocena latence v hipotetičnem podatkovnem omrežju nacionalnega nadzornika zračne plovbe**

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Mihe Mraza
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne 2.7.2012 Podpis avtorja: \_\_\_\_\_

## **Zahvala**

Zahvalil bi se svojemu mentorju, prof. dr. Mihi Mrazu za njegovo prijaznost, potrpežljivost in koristne nasvete pri izdelavi te diplomske naloge. Prav tako gre zahvala tudi zaposlenim v Kontroli zračnega prometa Slovenije za koristne podatke. Posebej bi se zahvalil mojim staršem in starim staršem, ki so mi omogočili dokončanje študija ter moji Katji, ki me je spodbujala in mi svetovala tekom pisanja.

# Kazalo vsebine

1. Uvod .....	1
2. Vrste komunikacij v letalskem prometu .....	3
2.1 Govorne komunikacije.....	3
2.1.1 HF frekvenčno področje.....	3
2.1.2 VHF frekvenčno področje .....	4
2.1.3 Satelitske govorne komunikacije .....	4
2.2 Podatkovne komunikacije.....	4
2.2.1 VHF podatkovne povezave .....	5
2.2.2 HF in satelitski prenos (Satcom) .....	8
2.2.3 Podatkovni prenos UAT .....	8
2.2.4 Letališki podatkovni promet.....	10
3. Sistem podatkovnih komunikacij ACARS .....	11
3.1 Predstavitev sistema ACARS .....	11
3.1.1 Oprema na letalu .....	12
3.1.2 Ponudnik storitve s svojo infrastrukturo .....	12
3.1.3 Strežnik letalske družbe - sistem obdelave podatkov.....	12
3.2 Sporočila v ACARS sistemu.....	13
3.2.1 Generiranje in prenos sporočila iz letala .....	15
3.2.2 Generiranje in prenos sporočila iz zemeljske postaje .....	15
4. ARINC 429 protokol .....	17
4.1 Korporacija ARINC .....	17
4.2 Vrste ARINC protokolov .....	18
4.3 ARINC 429 .....	19
4.3.1 Povezovanje elementov sistema.....	23
4.3.2 Format besed .....	23
4.3.3 Pariteta.....	24

4.3.4 Sign Status Matrix .....	24
4.3.5 Podatki.....	25
4.3.6 Source/Destination Identifier .....	27
4.3.7 Oznaka.....	28
5. Ocena latence prenosnega omrežja.....	30
5.1 Definicija latence .....	30
5.1.1 Latenca shranjevanja in posredovanja.....	30
5.1.2 Latenca notranjosti stikala.....	31
5.1.3 Latence prenosnih medijev.....	31
5.1.4 Latenca čakalne vrste .....	31
5.1.5 Izračun skupne latence .....	32
5.2 Predstavitev hipotetičnega omrežja .....	32
5.2.1 Prenosni kanal 1 .....	33
5.2.2 Preostali prenosni kanali .....	34
5.3 Ocena latence prenosa podatkov v hipotetičnem omrežju.....	34
5.3.1 Model omrežja in opis načina meritev .....	35
5.3.2 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar CHR .....	36
5.3.3 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar OLS .....	36
5.3.4 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar RON .....	37
5.3.5 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar VEN .....	37
5.3.6 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar KOR .....	37
5.4 Komentar izračunov latenc .....	38
Zaključek .....	39
Kazalo slik .....	40
Kazalo preglednic .....	41
Viri.....	42

## Seznam kratic in simbolov

- ACARS (Aircraft Communications Addressing And Reporting System): letalski sistem podatkovnih komunikacij in poročanja;
- AAC (Airline Administrative Control): administrativni nadzor, ki ga izvršuje letalska družba;
- ACMS (Aircraft Condition Monitoring System): sistem za nadzor stanja letala;
- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast): samodejni odvisni nadzor, difuzija;
- AEEC (Airlines Electronic Engineering Committee): komite letalske elektronike;
- AIM (Acknowledge, ISO Alphabet No. 5 and Maintenance data): protokol za prenos datotek po vodilu ARINC 429;
- AMC (Avionics Maintenance Conference): konferenca za vzdrževanje letalske elektronike;
- ARINC (Aeronautical Radio Incorporated): ameriška korporacija s področja letalskih sistemov;
- AOC (Airline Operational Control): operativna kontrola, ki jo izvršuje letalska družba;
- ATC (Air Traffic Control): kontrola letenja;
- ATIS (Automatic Terminal Information Service): storitve samodejnega poročanja informacij o letališču;
- ATN (Aeronautical Telecommunication Network): letalsko telekomunikacijsko omrežje;
- BCD (Binary-Coded Decimal): binarno kodiranje števil;
- BNR (Binary Number): binarno število;
- CAA (Civil Aviation Administration): civilne letalske oblasti;
- CPDLC (Controller Pilot Data Link Communications): podatkovna povezava pilot – kontrolor letenja;
- DEL: ASCII znak;
- DME (Distance Measuring Equipment): Oprema za merjenje razdalje;
- ETB (End of Text Block): ASCII znak za konec bloka teksta;
- ETX (End of Text): ASCII znak za konec teksta;
- FIS-B (Flight Information Service - Broadcast): oddajanje informacij za letalstvo;
- FMC (Flight Management Computer): računalnik za upravljanje poleta;
- FSEMC (Flight Simulator Engineering & Maintenance Conference): konferenca za simulatorje letenja in vzdrževanje;
- HF (High Frequency): visoke frekvence (3 - 30MHz);
- HFDL (High Frequency Data Link): podatkovna povezava na področju visokih frekvenc;

- ICAN (International Commission for Air Navigation): mednarodna komisija za zračno navigacijo;
- ICAO (International Civil Aviation Organisation): mednarodna organizacija civilnega letenja;
- LRU (Line- Replaceable Unit); zamenljiva enota;
- LSB (Lower Sideband): spodnji bočni pas;
- MCDU (Multifunctional Cockpit Display Unit): večfunkcijski prikazovalnik;
- MSO (Message Start Opportunities): možnost začetka oddaje sporočila;
- MU (Management Unit): upravljalna enota;
- PICA0 (Provisional ICAO): začasna mednarodna organizacija za civilno letalstvo;
- PSK (Differential Phase Shift Keying): diferencialno kodirana modulacija s faznim preskokom;
- RTX (Transciever): sprejemnik – oddajnik;
- SATCOM: satelitske komunikacije;
- SITA (Societe Internationalle de l'Transporte Aerienne): evropska korporacija s področja storitev v letalstvu;
- STX (Start of text): ASCII znak za začetek teksta v sporočilu;
- TIS-B (Traffic Information Service - Broadcast): oskrba s prometnimi informacijami;
- UAT (Universal Access Transceiver): univerzalni oddajnik – sprejemnik;
- USB (Upper Sideband): gornji bočni pas;
- VDL (VHF Data Link): VHF podatkovna povezava, ki je del ACARS sistema;
- VDL (VHF Digital Link): VHF podatkovna povezava;
- VHF (Very High Frequency): zelo visoke frekvence (30 – 300 MHz);
- WLAN (Wireless Local Area Connection): brezžična omrežna povezava.

## **Povzetek**

Kot vemo letalski promet v svetu in Evropi zelo narašča. Z naraščanjem le tega, se posledično povečuje tudi število in obseg komunikacij v letalstvu. Zaradi omejenega števila frekvenc namenjenim letalskim komunikacijam, so le te vse bolj zasedene in obremenjene. Prav zaradi tega so potrebne vedno nove rešitve na področju letalskih komunikacij. Z uporabo govornih komunikacij v preteklih desetletjih so se pojavljale tudi številne težave. Zaradi slabše kvalitete zvez na nekaterih področjih je prišlo do napačne interpretacije podatkov. Za rešitev teh težav so korporacije, kot je npr. ARINC, razvile različne sisteme, ki omogočajo podatkovno komunikacijo, v obliki tekstovnih sporočil, med letalom in zemljo. Prvi sistem, ki ga je korporacija ARINC predstavila in je omogočal prenos podatkov je bil ACARS. ACARS je postal osnova za nadaljnji razvoj obstoječih in razvijajočih se podatkovnih povezav. Trenutno najbolj razširjena podatkovna povezava je VDL mode 2. V pričujočem delu predstavimo osnove letalskih komunikacij in ACARS sistema, definiramo pojem latence v prenosnih omrežjih, na koncu dela pa skušamo določiti latenco hipotetičnega prenosa podatkov od letalskega plovila nad slovenskim nebom, do naše nacionalne zračne kontrole.

### **Ključne besede:**

letalske komunikacije, govorne komunikacije, podatkovne komunikacije, ARINC, ACARS, VDL mode 2, latenca, prenos podatkov

## **Abstract**

As we know the air traffic in the world and Europe is increasing. With the growth of it, is also consequently increasing the number and range of communications in aviation. Frequencies dedicated to air communications are now days busier and more congested, due to the limited number of them. Therefore we require new solutions in the field of aeronautical telecommunications. There have been a lot of problems with the use of voice communications over past decades. The lower quality of these communications brought to misinterpretation of data in some areas. To solve these problems, corporations like ARINC developed various systems which enable data communication between aircraft and ground in the form of text messages. The first system that was presented by ARINC Corporation and that allowed data transfer was ACARS. ACARS has become the basis for further development of existing and emerging data links. Currently the most common data link is VDL mode 2. In this dissertation we present basics of aeronautical telecommunications and ACARS system. We also define the meaning of latency in transmission network and at the end we have tried to determine a latency of hypothetical data transfer from aircraft above the Slovenian sky to our national air traffic control.

### **Key words:**

aeronautical communications, voice communication, data communication, ARINC, ACARS, VDL mode 2, latency, data transfer

## 1. Uvod

Začetki radiotelefonijske oz. telekomunikacij v letalstvu segajo v začetek dvajsetega stoletja, točneje v leto 1910, ko so v Združenih državah Amerike in Franciji prvič vzletela letala opremljena z opremo za komunikacijo. Prvotna oprema je bila sestavljena iz preprostih, a precej velikih radiotelegrafskih oddajnikov. Prav zaradi tega je letalci niso hoteli uporabljati. Kasneje je več uporabe doživela na nemških cepelinih, kjer je bilo prostora več kot dovolj [1].

Po koncu prve svetovne vojne se je pojavila prva večja želja po proizvodnji letal, predvsem v vojaške namene. Tudi razvoj civilnega letalstva se je pričel v tem obdobju. Leta 1919 je Italijan Marconi izdelal prvo letalsko radijsko opremo in tako opremljeno letalo je začelo leteti na poti London – Pariz. Tega leta je bila ustanovljena tudi ICAN (International Commission for Air Navigation) z namenom razvoja splošnih pravil v letalskem prometu. S povečanjem letalskega prometa so hitro uvideli, da splošna pravila ne bodo zadostovala za preprečitev kolizij. Začeli so z zagotavljanjem neke vrste kontrole letalskega prometa na podlagi svetlobnih signalov. Prvi kontrolni stolp, opremljen z radijsko opremo, je bil postavljen v Clevelandu leta 1931. V tistem času je bila le peščica letal opremljena z ustrezno radijsko opremo. Prvi centri za kontrolo letalskega prometa so bili vzpostavljeni okrog leta 1935. V tistem času so se tudi vzpostavila skupna pravila in standardi, ki so določala letalske poti in višine letenja [2]. V Evropi so se začele pojavljati radijske postaje, ki so delovale na isti frekvenci, katerih doomet je znašal približno 100 km. Že omenjeni predpisi so narekovali, da morajo biti vsa letala z več kot 5 sedeži opremljena z radijskim oddajnikom in sprejemnikom, na letalih z več kot desetimi sedeži pa je morala biti prisotna tudi radiotelegrafska oprema s telegrafistom. V tistem času so kontrolorji pilotom posredovali le informacije in ne navodil. Komunikacija je potekala v jeziku države, nad katero je letalo letelo.

Druga svetovna vojna je prinesla kar nekaj novih tehnoloških odkritij na področju letalstva. Še posebej lahko tu izpostavimo odkritje radarja, ki je omogočal nadzor, kot tudi navigacijo. Prvotno je bil razvit že pred drugo svetovno vojno s strani Britancev kot pomoč pri detekciji sovražnih letal. Tik pred koncem vojne, točneje leta 1944, Američani organizirajo Mednarodno konferenco civilnega letalstva, katere se udeležijo predstavniki 54 držav, da bi uveljavili in ponudili svoje postopke ostalim udeležencem v civilnem letalstvu [3]. Le nekaj mesecev kasneje je bila ustanovljena PICAQ (Provisional ICAO), katere glavna naloga je bila vzpostavitev enotnih postopkov za civilno letalstvo po svetu. Organizacija ICAO je leta 1950 izdala Annex 10 (Telekomunikacije).

Počasi je postajalo jasno, da imajo govorne komunikacije velike prednosti pred telegrafijo. Z letom 1953 so se tudi evropske letalske družbe začele vključevati v Severnoatlantski

radiotelefonski komite z namenom uporabe VHF (angl. *very high frequency*) radijskih postaj. S tem so se začeli razvijati tudi ostali sistemi, kot so sekundarni radarski sistem, sistemi za pristajanje pri zmanjšani vidljivosti, inercialni navigacijski sistem, itd.

V sedemdesetih letih se pojavijo začetki prvih letalskih podatkovnih povezav. Prednost storitev, ki jih taka povezava nudi, izkoristijo predvsem letalski prevozniki. Prav implementacija in izboljšanje teh storitev so, poleg potreb upravljanja letalskega prometa, gonilna sila za razvoj zmogljivejših podatkovnih povezav letalo – zemlja [4]. Zaradi vse gostejšega letalskega prometa in posledično večjega pretoka podatkov je bil v poznih osemdesetih letih uveden sistem za prenos sporočil ACARS (angl. *aircraft communications addressing and reporting system*). ACARS je sistem podatkovnih povezav, razvit za prenos kratkih in relativno preprostih sporočil med letalom in zemeljskimi postajami oziroma službami. Prvi začetki tega sistema so bili uvedeni že pred letom 1980, vendar pa sistem vse do poznih osemdesetih ni doživel širše uporabe. Pred uvedbo tega sistema so namreč vse komunikacije med posadko na letalu in osebje na zemlji potekale preko VHF ali HF radijskih postaj. V prihodnosti pa naj bi podatkovne povezave predstavljale glavni medij za izmenjavo raznih informacij.

Prvi del diplomske naloge bo namenjen predstavitvi komunikacij v letalskem prometu. Pri tem se bomo spoznali z vrstami komunikacij ter njihovimi primeri. Opisali bomo največkrat uporabljene načine komuniciranja, ki bodo predstavljeni tudi s slikovnim gradivom. V nadaljevanju se bomo posvetili opisu sistema ACARS. Spoznali se bomo z njegovo zgradbo, načinom delovanja ter strukturo sporočil in njihovim pomenom. Četrto poglavje bo namenjeno predstavitvi ene izmed vodilnih korporacij na področju razvijanja sistemov namenjenih prometnim komunikacijam, korporacije ARINC. Poleg zgoraj naštetih načinov komunikacije je v letalstvu oz. na letalih pomemben tudi sistem oz. način preko katerega med seboj komunicirajo sistemi na letalu. Ustavili se bomo pri predstavitvi enega izmed vodilnih protokolov za ta namen, protokolu ARINC 429. Glavni del diplomske naloge bo namenjen predstavitvi ti. latence v letalskem telekomunikacijskem omrežju. Seznanili se bomo s pojmom latence ter njenimi vrstami. Podrobneje si bomo ogledali in opisali latenco v omrežjih. Nadaljevali bomo z oceno primera letalskega telekomunikacijskega omrežja ter predstavili različne možnosti prenosa nekega paketa iz letala do končnega cilja na zemlji. Pri vsem tem se bomo osredotočili in poskušali prikazati zakasnitve na teh poteh od sprejema paketa s strani radarja do končnega cilja (npr. kontrole letenja).

## 2. Vrste komunikacij v letalskem prometu

Pojem komunikacije je izraz, ki označuje neko sporazumevanje. To sporazumevanje lahko poteka med ljudmi, računalniki in napravami, ter računalniki med seboj. V letalstvu se bolj kot pojem komunikacije uporablja izraz telekomunikacije (komunikacije na daljavo). Cilj obeh je distribucija podatkov v analogni (govorni) ali podatkovni obliki, k zemeljskim in letečim subjektom sistema. Kot že omenjeno, se komunikacije v letalstvu delijo v skupini

- govornih oz. analognih komunikacij in
- podatkovnih komunikacij.

### 2.1 Govorne komunikacije

Pri govornih komunikacijah gre predvsem za dialog med posadko in kontrolo letenja na relaciji letalo – zemlja. Ta dialog poteka izmenično dvosmerno po vnaprej znanih procedurah in pravilih. Obstaja tudi avtomatsko oddajanje podatkov o stanju na določenem letališču (ATIS) ali pa nekaterih meteoroloških poročil. Le redkokdaj pa se pojavi dialog med posadkama dveh letal. Ti dialogi potekajo preko radijskih zvez na tri možne načine in sicer, preko HF (angl. *high frequency*), VHF (angl. *very high frequency*) ali preko satelitov. Vsa ta omrežja so v domeni ANSP (angl. *air navigation service provider*), ki je dejanski izvajalec storitev vodenja in kontrole zračnega prometa. V vsaki državi pa obstajajo neki regulatorji (CAA, angl. *civil aviation authorities*), ki izdajajo dovoljenja za delovanje naprav, licenciranje osebja ter vršijo nadzor nad ANSP-ji. Glede na to, da po podatkovnih zvezah prihaja do vse večjega prenosa podatkov, pa bodo analogne komunikacije predstavljale še vedno velik pomen za uporabo v situacijah, kjer je potrebna neposredna komunikacija in takojšen odziv.

#### 2.1.1 HF frekvenčno področje

Kljub temu, da imajo komunikacije na HF frekvenčnem področju nekaj slabosti, pa so po drugi strani zelo pomembne na določenih geografskih področjih, kjer mreža VHF radijskih postaj ni razvita (polarna območja). Letalstvo ima tukaj dodeljenih kar nekaj frekvenčnih pasov. Zaradi omejenega spektra komunikacij prihaja v HF frekvenčnem področju do omejitev pasovne širine. Zato se tu uporablja enobočna amplitudna modulacija USB (angl. *upper sideband*) ali LSB (angl. *lower sideband*). V tem frekvenčnem področju pa se uporablja tudi postopek selektivnega klica (SELCAL). Letala se lahko s pomočjo dveh dvotonskih signalov v avdio frekvenčnem področju pokličejo.

### **2.1.2 VHF frekvenčno področje**

V letalstvu se za govorne komunikacije med posadko in kontrolo letenja največ uporablja VHF frekvenčno območje. Za komunikacijo ima letalstvo tu rezervirane frekvence od 118 MHz do 137 MHz. Razmik med kanali je bodisi 25 kHz ali pa 8.33 kHz, s tem, da se postopoma uvaja manjši razmik 8.33 kHz zaradi zasedenosti in s tem optimizacije frekvenčnega spektra. V uredbi komisije (ES) št. 1265/2007 z dne 26. oktobra 2007 o zahtevah glede razmika med zvočnimi kanali zrak-zemlja za enotno evropsko nebo, je bilo določeno, da morajo biti letala, ki letijo nad nivojem letenja 195 (19500 feet) opremljena z radijskimi sprejemniki 8.33 kHz [5]. Vsaka služba kontrole letenja ima dodeljeno eno frekvenco. Tako ima svojo frekvenco območna kontrola letenja, priletna, stolp, itd. Lahko pa ima, predvsem na manjših letališčih, več ATC služb dodeljeno eno frekvenco.

### **2.1.3 Satelitske govorne komunikacije**

Satelitski sistemi so dolgoročno predvideni kot nadomestilo kratkovalovnim govornim komunikacijam. Ustrezno opremljena letala lahko tam, kjer je potrebno, namesto HF radijske zveze koristijo satelitsko radijsko zvezo. Govorne (dejansko gre za digitalni prenos) satelitske komunikacije so na voljo s strani tretjih ponudnikov storitev (v glavnem geostacionarni sistem INMARSAT). Predvidene so kot dopolnitev VHF govornih povezav, ne pa kot njihovo nadomestilo, razen v (malo verjetnem) primeru, da bi prišlo do velikih sprememb v zmogljivosti in ceni.

## **2.2 Podatkovne komunikacije**

V telekomunikacijah izraz podatkovna povezava (angl. *data link*) pomeni povezavo dveh lokacij med seboj ter oddajanje in sprejemanje podatkov med njima. Pod pojmom podatkovna povezava lahko razumemo tudi vrsto elektronskih sklopov oz. naprav, ki so sestavljene iz oddajnika ter sprejemnika (npr. oprema dveh podatkovnih terminalov, ki sta povezana v nek podatkovni krog). Prenos podatkov od vira do cilja je natančno določen z ustreznim protokolom. V letalstvu se sistemi za podatkovno povezavo uporabljajo za izmenjavo informacij letalo – zemlja in letalo – letalo.

Prenos podatkov poteka lahko preko VHF, HF ali satelitske zveze. Največ podatkov se prenese preko VHF povezav, medtem ko so satelitske zveze ter zveze kratkih valov (HF DL, High Frequency Data Link, visokofrekvenčna podatkovna povezava) mišljene predvsem kot dopolnilo na območjih, kjer ni možno pokrivanje z VHF radijskimi signali (Atlantski in Tihi ocean).

## **2.2.1 VHF podatkovne povezave**

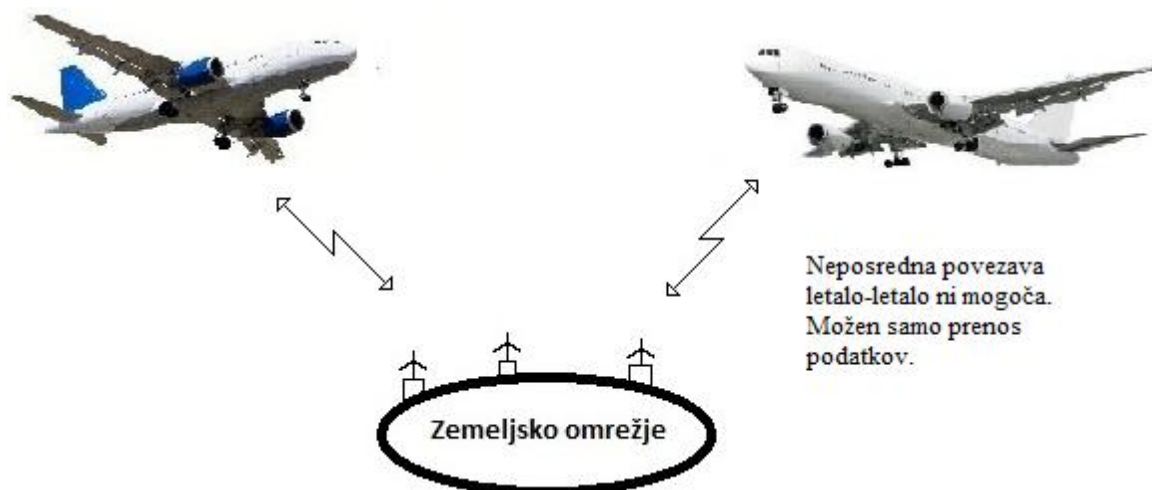
Kot smo že omenili v prejšnji točki, je VHF prenos podatkov najbolj uporabljan sistem prenosa. Pri VHF podatkovnih povezavah se uporablja tudi pojem VDL (VHF data link ali VHF digital link, VHF podatkovna povezava). Komunikacija med letali in zemeljskimi postajami poteka na določenih frekvencah. Tako npr. VHF data link uporablja frekvence med 117.975 – 137 MHz. Mreža VHF zemeljskih postaj zagotavlja posadki na letalu komunikacijo v realnem času s strežnikom letalske družbe praktično kjerkoli na svetu. Tako imenovane zemeljske antene delujejo po principu vidnega polja (angl. *line of sight*). Pri tem pa nastane problem, ker letala, ki letijo prenizko ali nad visokimi ovirami, ne morejo sprejemati signalov zemeljskih anten. Novi sistem VHF podatkovnih povezav bo zahteval novo opremo in razvoj nove infrastrukture, ki pa ne bo poceni.

### **2.2.1.1 VHF podatkovna povezava 1**

VDL 1 (VHF Digital Link 1) je bil v civilnem letalstvu v uporabi od leta 1978 in je predstavljal zamenjavo govornih komunikacij s podatkovnimi za potrebe letalskih družb in kontrole letenja. VDL 1 spada med nizkohitrostne VHF podatkovne povezave. Hitrosti prenosa podatkov so tu do 2400 bit/s, vendar pa so realne hitrosti še precej nižje in sicer le do 300 bit/s. VDL 1 je bil leta 1994 izbrisan iz ICAO standardov, saj ga je nadomestil mnogo učinkovitejši VDL 2.

### **2.2.1.2 VHF podatkovna povezava 2**

VHF podatkovna povezava oz. VDL 2 (VHF Digital Link 2) je visoko hitrostna VHF podatkovna povezava, katere hitrost prenosa podatkov sega vse do 31500 bit/s. VDL 2 uporablja isto frekvenčno območje in tehniko kot VDL 1. Načrtovan je kot podomrežje letalskega telekomunikacijskega omrežja ATN (angl. *aeronautical telecommunication network*) in je skladen z OSI modelom (glej sliko 1).

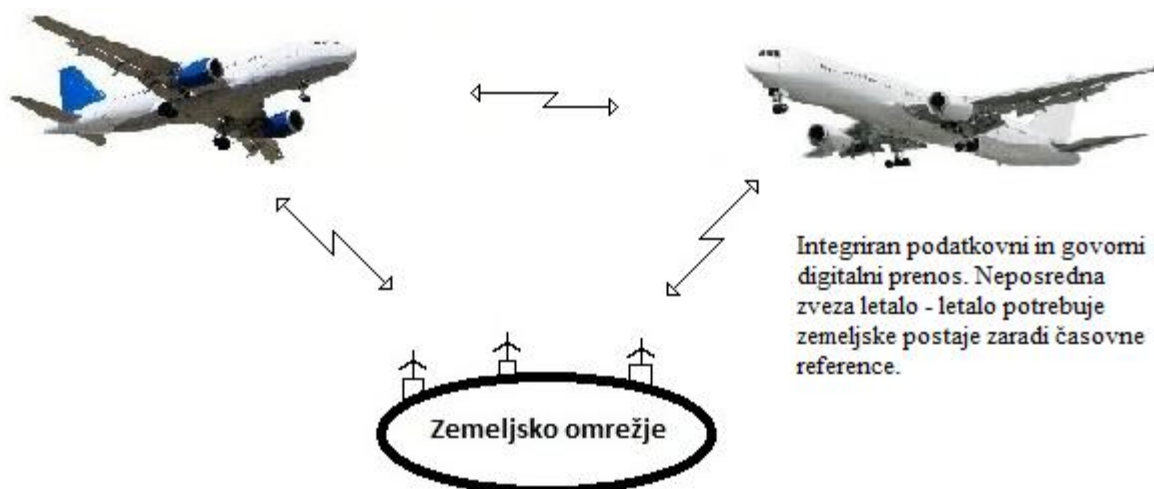


Slika 1: Podatkovna povezava VDL 2.

Pri VDL 2 je potrebno izpostaviti tudi to, da je edini VDL način, ki podpira ti. CPDLC (angl. *controller pilot data link communications*). CPDLC je metoda preko katere lahko kontrolorji zračnega prometa komunicirajo s piloti preko podatkovne povezave.

### 2.2.1.3 VHF podatkovna povezava 3

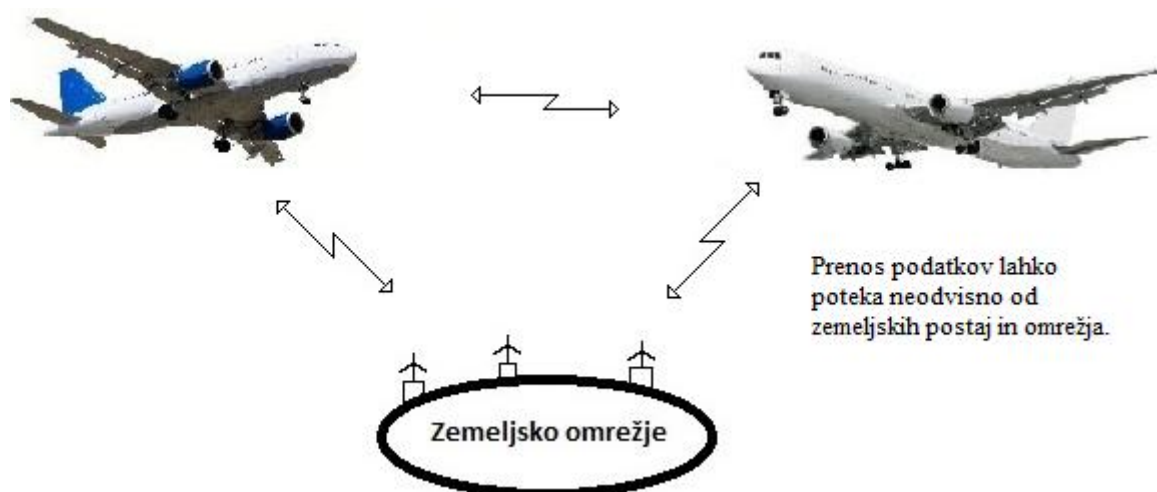
Podatkovna povezava VDL 3 (glej sliko 2) uporablja enake postopke modulacije in hitrosti prenosa kot VDL 2. Bistvena razlika je v tem, da je pri VDL 3 podatkovni povezavi predvidena možnost prenosa tako podatkov, kot tudi govora. Omogočena je tudi komunikacija letalo – letalo, vendar je za ta način komuniciranja potrebno omrežje zemeljskih postaj. Kot tehnika sodostopa se tu uporablja TDMA. Tu je smotno poudariti, da je bil VDL 3 standard razvit, implementacija pa je bila leta 2004 opuščena.



Slika 2: Podatkovna povezava VDL 3.

### 2.2.1.4 VHF podatkovna povezava 4

Podatkovna povezava VDL 4 je povezava, ki podpira komunikacije letalo – zemlja, letalo – letalo ter tudi oddajanje in komuniciranje od točke do točke. Ta sistem za razliko od VDL 2 in VDL 3 deluje tudi v okolju, kjer ni prisotnih zemeljskih postaj. Kljub tretjino manjši bitni hitrosti kot pri VDL 2 in VDL 3, pa naj bi bila propustnost podatkovne povezave in s tem tudi primernost za kritične ATC aplikacije predvsem ob zelo velikem številu uporabnikov, precej večja (glej sliko 3). Kot zanimivost lahko dodamo tudi to, da bo Švedska edina imela podatkovno povezavo VDL 4.



Slika 3: Podatkovna povezava VDL 4.

V preglednici 1 je vidna primerjava oz. karakteristike fizične plasti podatkovnih povezav VDL2, VDL3 in VDL 4.

	VDL 2	VDL 3	VDL 4
Frekvenčno	118 – 137 MHz	118 – 137 MHz	118 – 137 MHz
Širina kanala	25 kHz	25 kHz	25 kHz
Hitrost prenosa	31500 bit/s	31500 bit/s	19200 bit/s
Tehnika sodostopa	CSMA	TDMA	STDMA
Doseg	200 nmi	200 nmi	do 400 nmi
Modulacija	D8PSK	D8PSK	D8PSK
Način delovanja	Prenos podatkov	Prenos podatkov in govora	Prenos podatkov in govora

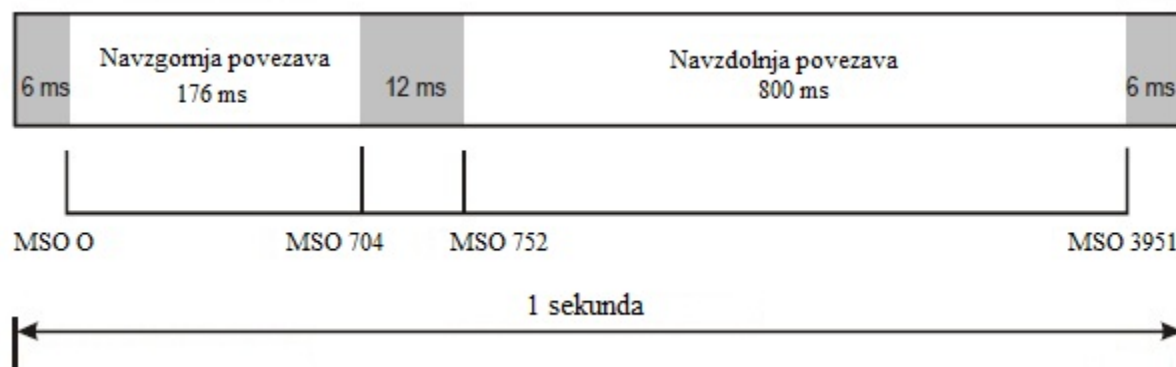
Preglednica 1: Pregled karakteristik podatkovnih povezav VDL 2, VDL 3 in VDL 4.

### 2.2.2 HF in satelitski prenos (Satcom)

HFDL ali z drugim imenom ACARS - HF je način podatkovnega prenosa, le da deluje na kratkem valu ter z nekoliko drugačno modulacijo 2PSK, 4PSK, 8PSK (angl. *differential phase shift keying*), hitrost prenosa pa gre adaptivno od 150 do 1800 bps, odvisno od kvalitete zveze. Začetke HFDL sistema lahko najdemo v standardu MIL-STD-188-110A. MIL-STD-188 je serija ameriških vojaških standardov povezanih s telekomunikacijami. Čeprav se sliši nekoliko staromodno, je ACARS-HF relativno nov način ter uporaben tam, kjer ni VHF pokrivanja. HFDL omogoča letalom, ki so opremljena s HFDL kontrolno funkcijo (angl. *HFDL control function*), pošiljanje in sprejemanje podatkovnih paketov preko omrežja HFDL zemeljskih postaj. Da se letalom olajša iskanje uporabne frekvence, oddaja vsaka izmed petnajstih zemeljskih postaj vsakih 32 sekund difuzne upravne signale na treh ali več različnih frekvenčnih področjih, sprejemnik pa se odloči uporabiti določeno frekvenco na podlagi ocene kvalitete sprejetih signalov. Sistem je tudi precej cenejši za postavitve in uporabo od satelitov, čeprav so le-ti priporočeni kot primarno sredstvo za komuniciranje na takih področjih. Satelitske zveze pa gredo večinoma preko kanalov geostacionarnega sistema INMARSAT [4].

### 2.2.3 Podatkovni prenos UAT

UAT (angl. *universal access transceiver*) je podatkovni prenos, zasnovan predvsem za ADS-B (angl. *automatic dependent surveillance – broadcast*) operacije. Deluje na frekvenci 978 MHz z visokim modulacijskim indeksom s kanalom skupne kapacitete 1 Mbit/s. Deluje na naslednji način. UAT okvir dolžine 1 sekunde je razdeljen na dva dela. Prvi del je namenjen navzgornji difuziji in obsega 704 MSO (Message Start Opportunities, možnost začetka oddaje sporočila, skupaj 4000) časovnih rezin. Sporočila navzgornje povezave imajo fiksno dolžino, 22 MSO. Drugi del je namenjen časovnim rezinam navzdolnje povezave, v katerih je sporočilo v eni ali več od 3200 MSO (glej sliko 4).

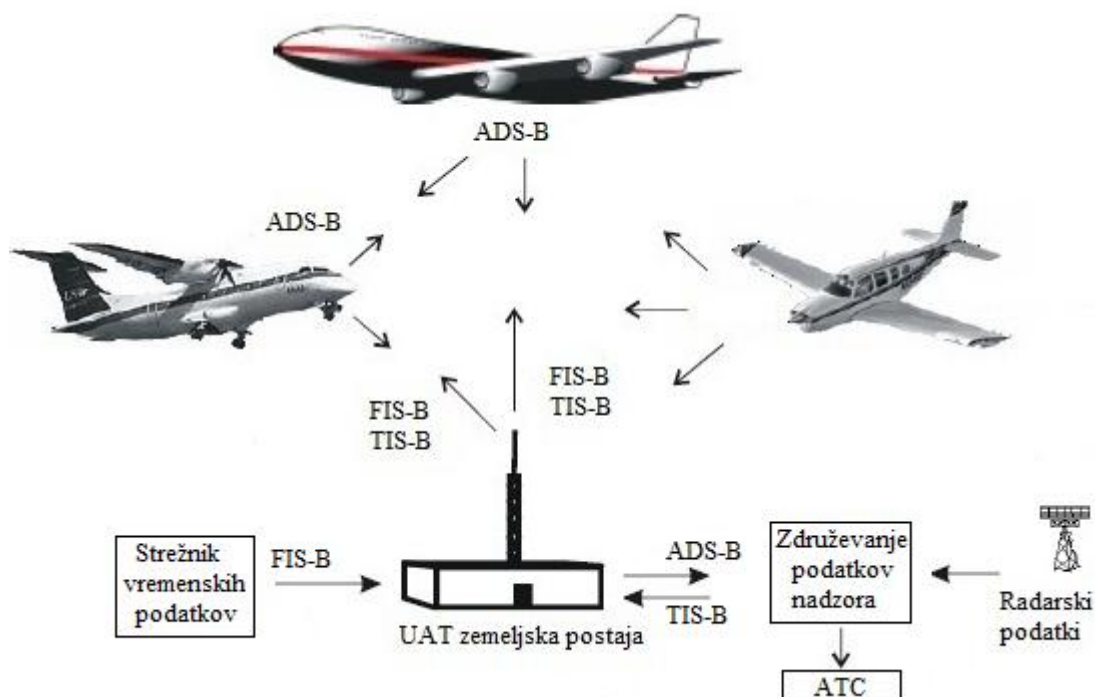


Slika 4: UAT okvir.

Sistem oz. tehnologija samodejnega odvisnega nadzora ADS-B omogoča letalom konstantno (vsako sekundo) oddajanje podatkov o svojem položaju, višini leta letala, vektorju hitrosti, ... Podatki se prenašajo preko podatkovne povezave. Tu sta pomembna dva izraza. ADS-B "out" pomeni, da so podatki poslani iz letala zemeljski postaji oz. drugim letalom opremljenim z ustrežno opremo. ADS "in" pomeni, da letalo sprejema informacije [6].

Uporabniki UAT imajo možnost sprejemanja FIS-B (angl. *flight information service - broadcast*) in TIS-B (angl. *traffic information service - broadcast*) sporočil (glej sliko 5). FIS-B je sestavni del ADS-B. Oddajanje grafičnih ali tekstovnih podatkov za uporabo v pilotski kabini poteka na relaciji zemlja – letalo. Gre predvsem za podatke, ki omogočajo večjo varnost in učinkovitost (vremenski podatki, začasne omejitve, ...).

TIS-B je dopolnilo ADS-B zrak – zrak storitvam za zagotavljanje popolnega zavedanja stanja v pilotski kabini o vsem letalskem prometu, ki je znano zemeljskemu ATC sistemu. TIS-B je zelo pomembna storitev predvsem na področjih, kjer nekatera letala nimajo možnosti oz. niso sposobna sprejemati ADS-B informacij. Pri tem je pomembno, da so ta letala v radarskem vidnem polju in letalo, ki sprejema podatke, v območju pokritosti TIS-B zemeljske postaje.



Slika 5: UAT povezljivost.

#### 2.2.4 Letališki podatkovni promet

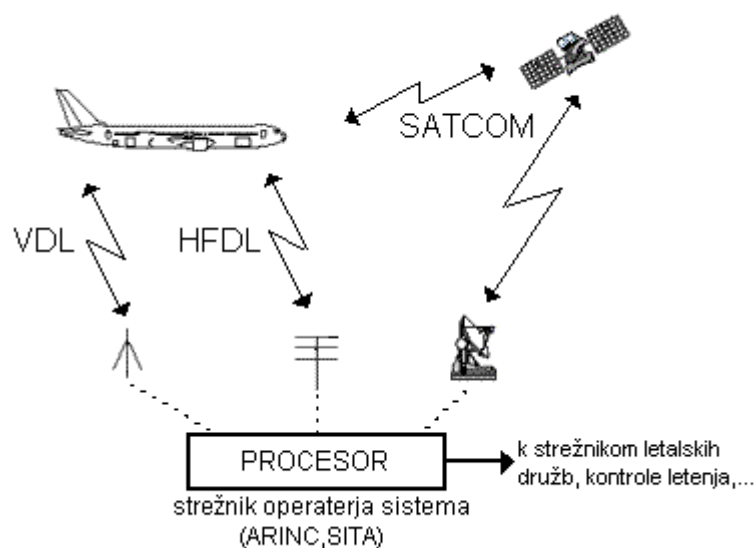
V današnjih časih se več kot 60 % podatkovnega prometa izvede na letališču samem oziroma v njegovi neposredni bližini. Prav zaradi tega je na večjih letališčih v okviru ACARS sistema v uporabi dodatna frekvenca za dostop (običajno 136,900 MHz). Tako imenovani sistem prenosa podatkov "Gatelink" se je pojavil nekje sredi devetdesetih in je takrat predstavljal dokaj širok spekter uporabe za komunikacije letalo – zemlja. Sedaj pa se uporablja predvsem za komunikacije zemlja – zemlja. Sistem deluje na principu brezžičnega lokalnega omrežja (poznano kot WLAN). Podatki se tu izmenjujejo med parkiranim letalom ter službami na letališču (terminali, tehnična služba, služba za tovor in prtljago,...). S takšno komunikacijo ter izmenjavo podatkov si letalski prevozniki pomagajo pri povečanju operativnih zmogljivosti [7].

### 3. Sistem podatkovnih komunikacij ACARS

V tem poglavju se bomo osredotočili na opis sistema ACARS in njegovo strukturo. Spoznali bomo tudi tipe sporočil značilne za ta sistem, ter njihovo sestavo.

#### 3.1 Predstavitev sistema ACARS

ACARS (angl. *aircraft communications addressing and reporting system*) je sistem podatkovnih povezav, razvit za prenos kratkih in relativno preprostih sporočil med letalom in zemeljskimi postajami oziroma službami. Pred tem so vse komunikacije med posadko in zemljo potekale preko govornih komunikacij. Sistem je razvila korporacija ARINC proti koncu sedemdesetih let [8]. Ta s pomočjo svojega omrežja, zemeljskih vodnikov ter postaj usmerja sporočila oz. podatke od sistema na letalu do končnega sistema na zemlji (glej sliko 6). Korporacija ARINC pa ni edina na tem področju, saj obstaja tudi drugi ponudnik teh storitev, SITA (Societe Internationale de Telecommunications Aeronautiques). Za komuniciranje preko ACARS sistema v Evropi je kot primarni kanal določen 131,725 MHz za SITA, ter 131,825 MHz za ARINC.



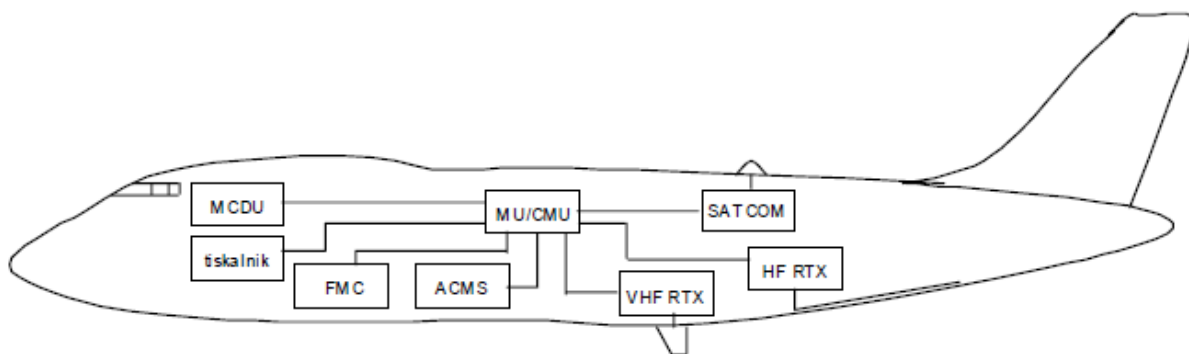
Slika 6: ACARS možnosti prenosa.

Obstajajo tri komponente ACARS sistema:

- oprema na letalu,
- ponudnik storitev s svojo infrastrukturo,
- zemeljski sistem obdelave podatkov.

### 3.1.1 Oprema na letalu

Srce sistema na letalu je upravljalna enota (angl. *management unit*). Kot je razvidno iz slike 7 [4] je MU povezana s številnimi drugimi napravami na letalu. To so vmesnik za posadko (MCDU, Multi-Function Control and Display Unit, večfunkcijski prikazovalnik, ki je sestavljen iz tekstovnega zaslona ter tipkovnice) [9], tiskalnik, sistem za nadzor stanja letala (ACMS, angl. *aircraft condition monitoring system*), računalnik za upravljanje poleta (FMC, angl. *flight management computer*), HF, VHF ter satelitski sprejemniki in oddajniki, itd.



Slika 7: ACARS oprema na letalu.

### 3.1.2 Ponudnik storitve s svojo infrastrukturo

Naloga ponudnika telekomunikacijskih storitev je posredovanje sporočila od letala do strežnika letalske družbe oz. kontrole letenja in obratno. Zemeljske postaje ponudnika storitev so locirane na letališčih in drugih točkah, ki omogočajo radijsko pokrivanje določenega področja, kjer letalo leti. Na svetu obstaja kar nekaj ponudnikov storitev, ki si med seboj konkurirajo. Dve najbolj dominantni korporaciji sta ARINC in SITA. V Evropi se njune storitve na nekaterih področjih celo prekrivajo. Njuna mreža VHF zemeljskih postaj je postavljena praktično na vseh celinah, čeprav je pokrivanje ponekod le delno. V 150-ih državah naj bi bilo postavljenih okrog 700 zemeljskih postaj. So pa tudi nekatere druge države kot je npr. Kitajska, ki so implementirale svojo mrežo s pomočjo ene izmed vodilnih korporacij.

### 3.1.3 Strežnik letalske družbe - sistem obdelave podatkov

To je "pajek v mreži" za celoten podatkovni promet namenjen npr. eni letalski družbi. Opravlja vse funkcije, povezane s podatkovno povezavo. Strežnik je povezan z

računalniškimi sistemi vzdrževalcev, načrtovalcev poletov, informacij o vremenu, preračunavanja vzletnih karakteristik, določanje posadk, itd.

Strežnik v kombinaciji z ostalimi deli ACARS sistema omogoča neprekinjeno komunikacijo v realnem času med omenjenimi računalniškimi sistemi ter letali. To pa je tisto, kar prinaša največ operativnih prednosti ter ekonomsko upravičenost.

### 3.2 Sporočila v ACARS sistemu

ACARS sporočila so lahko treh različnih tipov:

- nadzor zračnega prometa (ATC),
- nadzor operacij letalskih družb (AOC),
- administrativni nadzor letalskih družb (AAC).

Sporočila ATC (angl. *air traffic control*) se izmenjujejo pri komunikaciji med letalom in službo za nadzor zračnega prometa. Na eni strani gre za pridobivanje dovoljenj s strani posadke, na drugi strani pa za izdajanje in potrjevanje teh dovoljenj.

Sporočila AOC (angl. *aeronautical operational control*) in AAC (angl. *airline administrative control*) se uporabljajo pri komunikaciji posadke s svojo bazo. Tu so možni različni tipi sporočil, kot npr. podatki o porabi goriva, stanju motorjev, poziciji letala ali pa kar v obliki prostega teksta [10].

Tipično ACARS sporočilo je dolžine 100 – 200 znakov. Sporočilo za prenos je sestavljeno iz enega paketa. En paket s sporočilom je omejen z dolžino max. 220 znakov. Sporočila, ki so daljša od 220 znakov ACARS razčleni na več paketov, vendar pa sporočilo ne sme biti sestavljeno iz več kot 16 paketov.

Struktura oz. sestava podatkovnega paketa ACARS sporočila je naslednja [11,12]:

- do 16 znakov ogrevalne sekvence,
- 2 znaka (' + ' in ' \* ') za bitno sinhronizacijo,
- 2 ASCII znaka SYN za znakovno sinhronizacijo,
- 1 ASCII znak SOH za oznako začetka glave,
- 1 znak – način, oznaka zemeljske postaje,
- 7 znakov - naslov, registrska številka letala,
- 1 znak – ACK / NAK za potrditev sprejema,
- 2 znaka - oznaka tipa sporočila,
- 1 znak - ID bloka - poveča se za 1 pri vsakem uspešnem prenosu,

- 1 ASCII znak STX - začetek teksta,
- 4 znaki - zaporedna oznaka sporočila,
- 6 znakov - oznaka poleta,
- do 220 znakov - tekst – sporočilo,
- 1 ASCII znak ETX za konec sporočila oz. ETB, če je sporočilo daljše od 220 znakov in se nadaljuje v naslednjem paketu,
- 2 znaka - sekvenca za ugotavljanje napak in
- 1 ASCII DEL znak - marker konca paketa.

Na konkretnem primeru sestava paketa zglada nekako takole:

```
*<SYN><SYN><SOH>C.F-GTAI<NAK>5U1<STX>M22AAF2332VER/016/A321/M,  
SCH/AF2332/LFPG/LGAV/23MAY/1630, WXR/METF/LIBR/LGAV<ETX>=L<DEL>
```

Če zgornje podatke nekoliko uredimo iz njih lahko razberemo:

ACARS način: C (zemeljska postaja v Bologni)

Reg. oznaka letala: F-GTAI (Airbus 321)

Tip sporočila: 5U (wx request)

ID bloka: 1

Št. sporočila: M22A

Oz. poleta AF2332 (Air France polet 2332)

Sporočilo: VER/016/A321/M, SCH/AF2332/LFPG/LGAV/23MAY/1630,  
WXR/METF/LIBR/LGAV

ACARS način pomeni, s katero zemeljsko postajo letalo komunicira. Vsaka zemeljska postaja je označena z določeno črko, katero pa si lahko deli več postaj. Iz načrtane poti letala pa lahko sklepamo za katero postajo gre. Registrska oznaka F-GTAI nam pove državo, v kateri je letalo registrirano ter tip letala. V našem primeru gre za letalo Airbus A321, ki je registrirano v Franciji. Tip sporočila označimo z dvema znakoma. Obstajajo standardni tipi sporočil, ki so za vse uporabnike enaki ter uporabniško definirana sporočila, kjer imajo uporabniki (letalske družbe) možnost definirati svoje tipe sporočil. Pri "5U" gre za standarden tip ACARS sporočila, kar pomeni zahtevo po vremenskem poročilu. ID bloka je servisna informacija, ki se poveča za 1 ob vsakem uspešno prenesenem sporočilu. Številka sporočila nam pove dejansko oznako določenega sporočila. Pri oznaki poleta nam prva dva znaka označujeta letalskega prevoznika (AF- Air France), preostali del pa številko poleta po voznem redu (2332, Pariz - Atene). Preneseno sporočilo vsebuje informacije o letalu (A321), poletu (AF2332), vzletnem in prihodnem letališču (LFPG, LGAV), ter vremenski zahtevki (WXR)

za dve področji. Letališča so označena s štiričrkovno ICAO kodo. Vsakemu letališču je dodeljena določena koda. V našem primeru gre za letališča:

- LFPG; Pariz, Charles De Gaulle,
- LGAV; Atene, El Venizelos in
- LIBR; Brindisi.

### **3.2.1 Generiranje in prenos sporočila iz letala**

Sporočila na letalu se lahko generirajo avtomatsko s strani računalnika (MU, upravne enote), ročno s strani posadke, ali iz katerega drugega sistema na letalu (npr. ACMS, FMC). Upravljalna enota nato pošlje sporočilo preko ustrezne povezave (VHF ali Satcom). Izbira je samodejna. Običajno ima prioriteto VHF povezava – na zemljo. Ko zemeljska postaja sprejme sporočilo, pošlje nazaj potrditev, sporočilo samo pa dostavi preko zemeljskega omrežja ponudnika storitev osrednjemu procesnemu sistemu. Ta preoblikuje sporočilo v ustrezno obliko in ga pošlje strežniku letalske družbe, ki sporočilo sprejme, identificira in arhivira, ter izvrši vrsto nalog, odvisno od tega, komu je sporočilo namenjeno. Takemu procesu pošiljanja sporočil pravimo "downlink". Nekatera sporočila končajo v strežniku, druga pa so posredovana naprej na enega ali več naslovov oziroma končnim računalniškim sistemom. Tipični čas prenosa sporočila od trenutka, ko pilot pritisne na tipko "pošlji", do trenutka ko sporočilo sprejme določen sistem na drugi strani je 5-10 sekund.

### **3.2.2 Generiranje in prenos sporočila iz zemeljske postaje**

Proces se imenuje "uplink" in je bolj ali manj obraten prejšnjemu. Sporočila se generirajo samodejno iz računalnikov končnih uporabnikov, strežnika samega ali pa ročno s strani nekega uporabnika. Strežnik pošlje sporočilo procesorju ponudnika storitev, ta pa zemeljski postaji, ki je najbližje letalu ali pa na satelit. Računalnik upravne enote na letalu potrdi sprejem sporočila in ga posreduje naprej na zaslon, tiskalnik ali kakšen drug sistem.

Kot je že bilo omenjeno v poglavju 3.2, je dolžina ACARS sporočil omejena. V ta namen so sporočila zelo dobro in premišljeno sestavljena. Vsaka pozicija v sporočilu ima določeno funkcijo. Za lažje razumevanje teh sporočil obstaja tudi tabela standardnih ACARS sporočil, katere del lahko vidimo na sliki 8 [13].

Tip	Oznaka	Pomen sporočila	Tip	Oznaka	Pomen sporočila
0 0	HJK	Poročilo o nevarnosti	CF		Stanje tiskalnika - rezerviran
5D	TIS	ATIS prošnja	H1		Sporočilo za/od terminala
5U	WXR	Prošnja za vremenske informacije	M1	MVA	IATA vzletno sporočilo
7A	ENG	Podatki o motorjih letala	M2	MVA	IATA sporočilo o prihodu
80-9		Sporočila naslovljena od pilota	M3	MVA	IATA sporočilo o vmitvi na ploščad
A1	CLX	Izdati oceansko dovoljenje	M4	MVA	IATA sporočilo o vmitvi po vzletu
A2	CLD	Izdati vzletno dovoljenje	Q0		ACARS test povezave
A5	RPR	Prošnja za poročilo o položaju	Q1		ETA sporočila za odhod/prihod
A7	FTU	Sporočilo s prostim tekstom	Q3	CLK	Posodobitev ure
A9	DAI	Dostavi ATIS informacije	Q7	DLA	Sporočilo o zamudi
B1	RCL	Prošnja za oceansko dovoljenje	QA	DEP	Sporočilo o času "OUT" in količina goriva
B3	RCD	Prošnja za vzletno dovoljenje	QB	DEP	"OFF" sporočilo
B4		Potrditev vzletnega dovoljenja	QC	ARR	"ON" sporočilo
B5	PPR	Poročilo o položaju	QD	ARR	Sporočilo o času "IN" ter količina goriva
HX	REJ	Sporočilo na letalo ni bilo dostavljeno	QK	ARR	Sporočilo o pristanku
			QL	ARR	Sporočilo o prihodu
			QM	ARR	Poročilo o prihodu
			QN	DIV	Sporočilo o preusmeritvi
⇓	"Downlink"	⇄	"zemlja-zemlja"		
⇑	"Uplink"	⇕	"Uplink" ali "Downlink"		

Slika 8: Tabela standardnih ACARS sporočil.

## 4. ARINC 429 protokol

V pričujočem poglavju se bomo najprej posvetili predstavitvi korporacije ARINC. Opisali bomo njen način delovanja ter navedli vse dejavnosti s katerimi se ukvarja. Ustavili se bomo na področju razvoja ARINC protokolov ter predstavili enega izmed vodilnih protokolov pri komunikaciji sistemov na letalu, protokolu ARINC 429.

### 4.1 Korporacija ARINC

Še preden se spoznamo z različnimi ARINC protokoli, bi bilo dobro opisati in se spoznati z načinom delovanja korporacije ARINC. Korporacija ARINC (angl. *aeronautical radio, incorporated*) je bila ustanovljena leta 1929 in je trenutno vodilni ponudnik na področju prometnih komunikacij in sistemov inženirskih rešitev na področju osmih panog:

- letalstvo,
- letališča,
- obramba,
- vlada,
- zdravstvo,
- omrežja,
- varnost in
- transport.

Čeprav je korporacija poznana predvsem po svojih protokolih, pa je področje standardizacije le eno izmed dejavnosti ARINC-a. Vse dejavnosti v letalski industriji so vodene na podlagi treh odborov:

- AEEC (angl. *airlines electronic engineering committee*); razvoj ARINC protokolov,
- AMC (angl. *avionics maintenance conference*); razvoj tehničnih protokolov povezanih z vzdrževanjem,
- FSEMC (angl. *flight simulator engineering & maintenance conference*); razvoj tehničnih protokolov povezanih s simulacijo in vzdrževanjem.

AEEC ustvarja vrednost za letalske prevoznike in letalsko industrijo z razvojem inženirskih standardov oz. protokolov ter tehničnih rešitev za letalsko elektroniko, omrežja in kabinske sisteme, ki spodbujajo večjo učinkovitost in zmanjšanje stroškov življenjskega cikla v celotni letalski skupnosti. ARINC standardi, razviti in sprejeti pri AEEC, predstavljajo precejšnje ugodnosti letalskim prevoznikom ter celotni letalski industriji s spodbujanjem konkurence, z

namenom omogočanja zamenljivosti in zmanjševanja življenjskih stroškov za letalsko elektroniko ter kabinske sisteme. Pri razvoju standardov sodeluje približno 250 organizacij, ki skupno zaposlujejo preko 4000 inženirjev in znanstvenikov [14].

AMC prispeva k povečani zanesljivosti in vzdrževanju z namenom zmanjšanja stroškov poslovanja za letalsko elektroniko in drugih letalskih elektronskih sistemov. Vse to je doseženo z mednarodno priznano konferenco vzdrževanja letalske elektronike ter razvojem tehničnih standardov. Konference se letno udeleži več kot 750 strokovnjakov iz področja vzdrževanja. Z vsakoletnim srečevanjem se dogovorijo o takojšnjih in dolgoročnih izboljšavah na področju vzdrževanja. Letalska industrija tako letno prihrani preko 50 milijonov dolarjev [15].

FSEMC nudi stroškovno učinkovite rešitve za operativne in vzdrževalne stroške simulatorjev letenja. Tudi te vsakoletne konference se udeleži približno 300 strokovnjakov iz področja simulatorja letenja z namenom povečanja učinkovitosti uporabnikov le tega ter predvsem zmanjšanja stroškov [16].

## 4.2 Vrste ARINC protokolov

Obstajajo tri vrste ARINC protokolov na področju avionike [17]:

- ARINC karakteristike oz. značilnosti: definiranje oblike, funkcije in vmesnikov letalske elektronike, sistemov v pilotski kabini ter letalskega omrežja,
- ARINC tehnični podatki: določajo fizičen poseg oz. montažo elektronike in opreme v letalski kabini,
- ARINC poročila: zagotoviti smernice oz. splošne informacije, ki jih najdemo v letalski industriji, pogosto povezane z vzdrževanjem letalske elektronike ter simulatorjem letenja.

ARINC protokoli se delijo v več kategorij oziroma serij:

- serija 400 vključuje navodila za namestitev, električne napeljave, podatkovna vodila in podatkovne baze,
- serija 500 opisuje opremo analogne avionike, ki je uporabljena na letalih kot so Boeing 727, Douglas DC-9, DC-10, Boeing 737, Boeing 747 in Airbus A300,
- serija 600 opisuje temelje opreme, ki je značilna za ARINC serijo 700,
- serija 700 opisuje digitalne sisteme ter opremo nameščeno na letalih, vključno s podatki, elektroniko digitalnih sistemov in komunikacijske protokole,

- serija 800 opisuje razvoj tehnologij, ki podpirajo omrežja v letalih, vključno z optičnimi vlakni, ki se uporabljajo pri vodilih z visoko hitrostjo,
- serija 900 opisuje sisteme letalske elektronike v integrirani modularni in/ali omrežni arhitekturi.

### 4.3 ARINC 429

Specifikacija ARINC 429 je bila razvita iz prvotne specifikacije digitalnih komunikacij, navedene v ARINC 419. Prva verzija specifikacije ARINC 429 je izšla aprila leta 1978, kot verzija ARINC 429-1. Zadnja izmed verzij je ARINC 429-17, ki jo je leta 2004 objavila AEEC in je sestavljena iz treh delov:

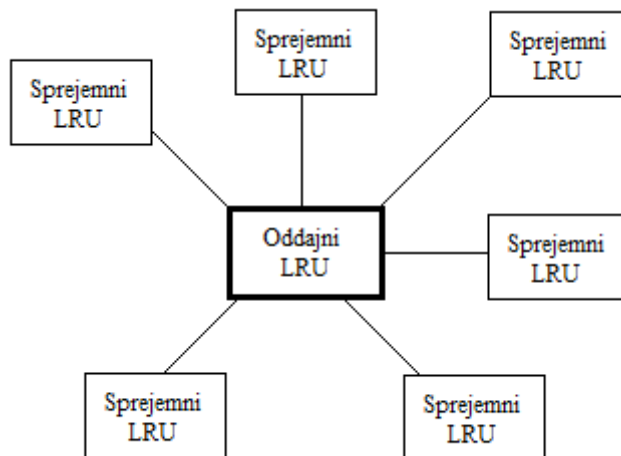
- ARINC Specification 429, Part 1-17: Functional Description, Electrical Interface, Label Assignments and Word Formats,
- ARINC Specification 429, Part 2-16: Discrete Word Data Standards,
- ARINC Specification 429, Part 3-18: File Data Transfer Techniques.

ARINC 429 je protokol oz. standard, ki določa, kako naj na letalu med seboj komunicirajo letalska oprema in sistemi. Vsi sistemi na letalu so medsebojno povezani s tako imenovano "oklopljeno parico". V specifikaciji so definirane električne in podatkovne karakteristike ter protokoli, ki so potrebni za vzpostavitev komunikacije. ARINC 429 je uradno poznan kot Mark 33 DITS (angl. *digital information transfer system*). Specifikacija Mark 33 DITS opisuje sistem, v katerem imajo elementi sistema pripravljene podatke za prenos, ki naj bi se prenesli iz točno določenih izhodnih vrat preko parice do vseh sistemov, ki te informacije potrebujejo.

Oprema za uporabo protokola ARINC 429 je bila nameščena na večino komercialnih potniških letal, kot so npr; Airbus A310/A320 in A330/A340, Bell Helicopter, Boeing 727, 737, 747, 757 in 767 ter McDonnell Douglas MD-11. Novejša letala med katere spadata tudi Airbus A380 in Boeing 777 pa sta opremljeni z novejšimi različicami. V Airbus-u A380 je implementiran ti. AFDX (angl. *avionics full-duplex switched ethernet*), Boeing 777 pa uporablja neke vrste naslednika ARINC 429 in sicer ARINC 629, kateri omogoča komuniciranje v obeh smereh in je tudi precej hitrejši [18]. Nekatera letala uporabljajo tudi alternativne sisteme z namenom zmanjšanja teže povezovalnih kablov.

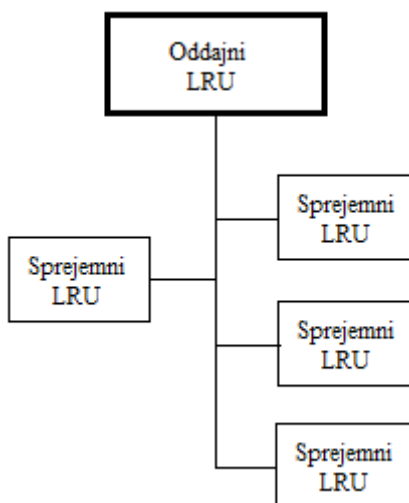
ARINC 429 definira tako strojno opremo, kot tudi podatkovne besede potrebne za prenos po vodilu. Strojna oprema je sestavljena iz enega oddajnika oz. vira, povezanega z 1-20 sprejemnikov, ki so med seboj povezani z že prej omenjeno parico. Podatki se lahko

prenašajo le v eno smer (angl. *simplex communication*), z dvosmernim prenosom, ki zahteva dva kanala, ali preko vodil. Naprave, zamenljive enote oz LRU (angl. *line-replaceable unit*), so najpogosteje nastavljene v zvezdni topologiji (glej sliko 9) ali topologiji vodila (angl. *bus-drop*) (glej sliko 10). Vsaka LRU enota lahko vsebuje več oddajnikov in sprejemnikov.



Slika 9: Zvezdna topologija.

Mnogi smatrajo zvezdno topologijo za bolj varno, saj ima vsaka LRU enota svojo povezavo z oddajnikom oz. virom. V primeru prekinitve na vodilu je rezultat tega izguba le enega sprejemnika oz. poslušalca. Slabost zvezdne topologije pa je ta, da za povezovanje posameznih sprejemnikov potrebujemo ogromno kablov, kar se odraža v večji teži ter ustvarjanju ti. " podganjih gnezd " (angl. *rats nest*). Pod tem izrazom si lahko predstavljamo zelo neurejeno in prepleteno mrežo povezovalnih kablov.



Slika 10: Topologija vodila.

Topologija vodila je najpogostejša oblika povezovanja. Še vedno je prisotnih enako število logičnih povezav, vendar pa s tem načinom povezovanja pripomoremo k znatnemu zmanjšanju teže. S tem načinom se rešimo problema "podganjih gnezd" ter nadomestimo več možnih prekinitev z eno samo.

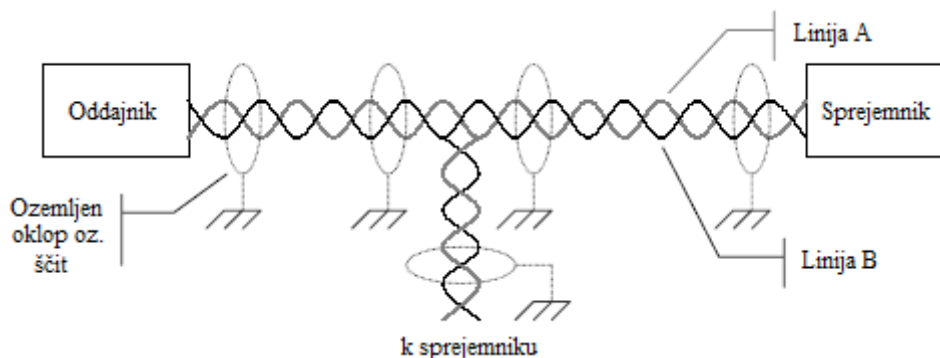
Vsako letalo je lahko opremljeno z različno elektronsko opremo in sistemi za povezovanje. Na letalih je vključene oz. nameščene ogromno opreme, ki je opredeljena v specifikaciji, kateri so dodeljene digitalne identifikacijske številke imenovane ID opreme (angl. *equipment ID*). Delni seznam opreme je viden na sliki 11 [19]. Celoten seznam je podan v specifikaciji ARINC Specification 429, Part 1-17: Functional Description, Electrical Interface, Label Assignments and Word Formats [20].

Eq. ID	Equipment Type	Eq. ID	Equipment Type
001	Flight Control Computer (701)	029	ADDCS (729) and EICAS
002	Flight Management Computer (702)	02A	Thrust Management Computer
003	Thrust Control Computer (703)	02B	Perf. Nav. Computer System (Boeing 737)
004	Inertial Reference System (704)	02C	Digital Fuel Gauging System (A310)
005	Attitude and Heading Ref. System (705)	02D	EPR Indicator (Boeing 757)
006	Air Data system (706)	02E	Land Rollout CU/Landing C & LU
007	Radio Altimeter (707)	02F	Full Authority EEC-A
008	Airborne Weather Radar (708)	030	Airborne Separation Assurance System
009	Airborne DME (709)	031	Chronometer (731)
00A	FAC (A310)	032	Passenger Entertain. Tape Reproducer (732)
00B	Global Positioning System	033	Propulsion Multiplexer (PMUX) (733)
00D	AIDS Data Management System	034	Fault Isolation and Detection System (734)
010	Airborne ILS Receiver (710)	035	TCAS (735)
011	Airborne VOR Receiver (711)	036	Radio Management System (736)
012	Airborne ADF System (712)	037	Weight and Balance System (737)
016	Airborne VHF COM Receiver (716)	038	ADIRS (738)
017	DEFDARS-AIDS (717)	039	MCDU (739)
018	ATC Transponder (718)	03A	Propulsion Discrete Interface Unit
019	Airborne HF/SSB System (719)	03B	Autopilot Buffer Unit
01A	Electronic Supervisory Control	03C	Tire Pressure Monitoring System
01B	Digital Flap/Slat Computer (A310)	03D	Airborne Vibration Monitor (737/757/767)
01C	Engine Parameter Digitizer (Engine)	03E	Center of Gravity Control Computer
01D	A/P & F/D Mode Control Panel -757/767	03F	Full Authority EEC-B
01E	Performance Data Computer (Boeing)	040	Cockpit Printer
01F	Fuel Quantity Totalizer	041	Satellite Data Unit
020	DFS System (720)	046	CTU
023	Ground Proximity Warning Sys (723)	047	Digital Flight Data Recorder
024	ACARS (724)	----	additional items
025	Electronic Flt. Instruments (725)	----	"
026	Flight Warning Computer (726)	----	"
027	Microwave Landing System (727)	241	High Power Amplifier

Slika 11: Delni seznam opreme po ID-ih.

### 4.3.1 Povezovanje elementov sistema

Kot je že bilo omenjeno v poglavju 4.3, se kot prenosni medij po vodilu uporablja t.i. oklopljena parica [21]. Na sliki 12 [22] je podana ilustracija parice.



Slika 12: Zgradba oklopljene parice.

Izhodna impedanca oddajnika mora biti  $75 \Omega \pm 5$ , ki mora biti porazdeljena enakomerno med Linijo A in Linijo B. Ta uravnotežen izhod bi moral ustrezati impedanci kabla. Maksimalna dolžina parice ni določena, saj je odvisna od števila sprejemnikov ter vira energije. Večina sistemov je narejenih za dolžine pod 50 m, vendar pa novejši oddajniki dovoljujejo tudi dolžine do 90 m.

### 4.3.2 Format besed

Protokol ARINC 429 uporablja tako imenovan "point to point" format ter prenos podatkov iz enega samega vira po vodilu tudi na do 20 sprejemnikov. Oddajnik oddaja vedno bodisi podatkovne besede, bodisi oddaja NULL.

Podatkovna beseda ARINC 429 je 32 bitna in je sestavljena iz petih glavnih polj (glej sliko 13):

- pariteta – 1 bit,
- Sign/Status Matrix (SSM) – 2 bita,
- podatki – 19 bitov,
- Source/Destination Identifier (SDI) – 2 bita,
- oznaka – 8 bitov.

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P	SSM	MSB	Podatki													LSB	SDI	MSB	Oznaka			LSB									

Slika 13: Format besede po standardu ARINC 429.

Polji, ki sta nujno potrebni, sta oznaka in paritetni bit, ostalih 23 bitov pa je namenjenih ogrođju sporočila. Obstajajo tudi nestandardni formati besed, ki so jih razvili drugi proizvajalci opreme. Kot je že bilo povedano, so vsi ARINC podatki preneseni z 32 bitnimi besedami. V primeru, da je sporočilo krajše, se neuporabljeni biti zapolnijo z ničlami.

### 4.3.3 Pariteta

Paritetni bit pri ARINC 429 je vedno MSB. Pariteta je liha, razen v primeru nekaterih testov. Liha pariteta pomeni, da mora biti skupno število enic ("1") v besedi liho. To se v 32 bitni besedi doseže s postavitvijo oz. brisanjem paritetnega bita. ARINC 429 ni namenjen kakršni koli korekciji napak, temveč predvsem njenim detekcijam.

### 4.3.4 Sign Status Matrix

Biti 30 in 31 sta predpisana za polje SSM (angl. *sign/status matrix*), ki se uporablja za poročanje o stanju opreme ali za poročanje o znaku oz. smeri (+, -, sever, jug, vzhod, zahod). ARINC 429 uporablja za predstavitev številsko kodiranih podatkov dva kodna jezika. To sta BCD (angl. *binary-coded decimal*) ter BNR (angl. *binary number representation*). Za BNR podatkovne besede SSM vključuje tudi bit 29. Odvisno od oznake (angl. *label*), ki nam pove katera vrsta oz. tip podatkov se prenaša, nam SSM polje lahko zagotovi različne informacije. Ko se polje uporabi za zagotavljanje informacij o statusu opreme, SSM poroča o treh splošnih pogojih:

- poročilo o stanju strojne opreme (napaka/normalno),
- način delovanja (funkcionalni test),
- veljavnost vsebine podatkovne besede (preverjeno/nepreverjeni podatki).

Pri tem moramo biti pozorni na tri zelo pomembne definicije, ki veljajo za BCD, BNR ter tudi za t.i. diskretne podatkovne besede (angl. *discrete data words*):

- neveljavni podatki (angl. *invalid data*) so definirani kot katerikoli podatki, ki se prenašajo od izvornega do končnega sistema, za katere ne moremo zagotavljati njihove zanesljivosti; neveljavni podatki vključujejo dve kategoriji in sicer "Nepreverjeni podatki" ter "Opozorilo o napaki";
- nepreverjeni podatki (angl. *no computed data*) so poseben primer podatkov, kjer izvorni sistem oz. črna skrinjica (angl. *black box*) ni zmožen preračunati zanesljivosti podatkov;

- opozorilo o napaki (angl. *failure warning*) se pojavi, ko je sistem zaznal eno ali več napak v samem sistemu ali v zvezi s sistemom.

V primeru uporabe SSM polja za prenos statusa in če obstaja več kot ena možnost poročanja o znaku oz. smeri, sistem izbere možnost z najvišjo prioriteto. Kot je že bilo omenjeno, se v tem primeru nastavljata bita 30 in 31. Vrstni red prioritete je viden v preglednici 2.

Vrsta opozorila	Prioriteta
Opozorilo o napaki	Prioriteta 1
Nepreverjeni podatki	Prioriteta 2
Funkcionalni test	Prioriteta 3
Normalne operacije	Prioriteta 4

Preglednica 2: Prioritete sporočil.

#### 4.3.5 Podatki

Tipična ARINC 429 beseda potrebuje za svoj podatkovni del 19 bitov (biti 11-29). Pri prenosu besede po vodilu se najprej prenese oznaka in sicer od MSB do LSB bita. Nato pa sledijo preostali biti v normalnem vrstnem redu (biti 9-32). LRU, ki sprejema podatke, je odgovoren za prevod oz. prepoznavo teh podatkov ter prerazporeditev bitov v pravilni vrstni red.

8	7	6	5	4	3	2	1	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
MSB	Oznaka			LSB	SDI	Podatki													MSB	SSM	P										

Slika 14: Vrstni red prenosa ARINC 429 besede.

ARINC 429 omogoča naslednje podatkovne tipe:

- BNR: preneseni podatki so zapisani v dvojiškem komplementu,
- BCD: numerična podmnožica ISO Alphabet No. 5,
- Discrete Data: kombinacija BNR, BCD ali predstavitev posameznih bitov,
- vzdrževanje podatkov in potrditev (angl. *maintenance data and acknowledgement*): zahtevana je dvosmerna komunikacija,
- Williamsburg/Buckhorn protokol: bitno orientiran protokol za prenos datotek.

### 4.3.5.1 Podatki BNR

Podatki so kodirani kot binarno število. Pri BNR tipu podatkov se bit 29 uporablja za določanje predznaka števila ali pa za predstavitev smeri, kot je že bilo omenjeno v razdelku o pariteti (glej preglednico 3). Splošen format BNR podatkovne besede je viden na sliki 15. Oznaka PAD na sliki je namenjena vsem bitom, ki niso potrebni za predstavitev podatkov. Vsi ti biti so postavljeni na binarno 0 ali ti. "valid data pad bits".

Bit	Pomen
29	
0	+, sever, vzhod, desno, nad
1	-, jug, zahod, levo, pod

Preglednica 3: Možnosti uporabe bita 29.

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P	SSM		Podatki														PAD			SDI	MSB		Oznaka			LSB					

Slika 15: Splošen format BNR podatkovne besede.

Slika 16 prikazuje BNR način kodiranja podatkov. Kot primer je prikazana oznaka 103, katera po ARINC specifikaciji govori o izbrani zračni hitrosti (angl. *selected airspeed*). Iz specifikacije je tudi razvidno, da je omejitev oz. skala nastavljena na 512, za kar je potrebnih 11 bitov (biti 29-19). Bit 29 je kot že vemo namenjen za določanje predznaka. Izbrana zračna hitrost je v tem primeru 465 vozlov oz. 861 km/h.

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P	SSM		0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	P	P	P	P	P	P	P	P	SDI	1	1	0	0	0	0	1	0	
	1	1	465											P					0	0	3	0	1								

Slika 16: Primer BNR podatkovne besede.

### 4.3.5.2 Podatki BCD

Za predstavitev sporočila v BCD formatu so biti namenjeni podatkom razdeljeni v 5 podpolj. Vsako podpolje je sestavljeno iz 4-ih bitov (glej sliko 17). Najpomembnejše podpolje je sestavljeno le iz 3 bitov tako, da je največje možno število, ki ga lahko predstavimo, 7. V primeru, da je to število večje od 7, se biti 27-29 postavijo na 0. Tako postane drugo podpolje

najpomembnejše. S tem lahko predstavimo le 4 namesto 5 binarnih vrednosti. Pri vsem tem se polje SSM uporablja za predstavitev predznaka števila.

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P	SSM	Polje 1				Polje 2				Polje 3				Polje 4				Polje 5				SDI	MSB	Oznaka				LSB			

Slika 17: Splošni format BCD podatkovne besede.

Iz slike 18 lahko razberemo, da gre za oznako 015. Iz specifikacije lahko razberemo, da gre za hitrost vetra, ki v tem primeru znaša 144 vozlov s pozitivnim predznakom. V tem primeru biti 11-18 niso potrebni za predstavitev podatkov tako, da so postavljeni na binarno 0 (pri BCD/BNR ti. "valid data bit").

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
P	SSM	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	P	P	P	P	P	P	P	P	P	SDI	1	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	1		4				4								0	0	5			1		0							

Slika 18: Primer BCD podatkovne besede.

#### 4.3.5.3 Diskretni podatki

Diskretni podatki so sestavljeni iz BNR in/ali BCD podatkov ali kot posamezni biti, ki predstavljajo specifična stanja opreme. Bolj podroben opis je podan v specifikaciji ARINC Specification 429, Part 2-16: Discrete Word Data Standards, ki je v celoti namenjena diskretnim podatkom [23].

#### 4.3.5.4 Williamsburg/Buckhorn protokol

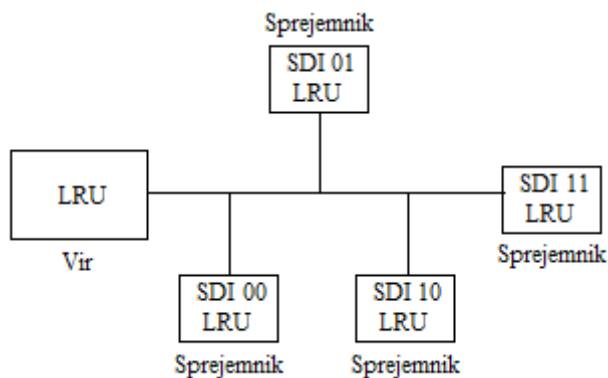
Williamsburg/Buckhorn je bitno-orientiran protokol, ki se uporablja za prenos datotek po ARINC vodilu. Prenos datotek je potreben, ko je za prenašanje sporočila potrebnih več kot 21 bitov. Williamsburg/Buckhorn protokol nadomešča nekdanji AIM način prenosa datotek, katerega so uporabljale nekatere prejšnje verzije ARINC 429. Protokol deluje tako, da sta med posameznimi LRU enotami vsaj dve ali več vodil. Vsaka LRU enota ima vodilo za prenos in vodilo za sprejem podatkov. Za opravljanje prenosa pa ima LRU implementiran tudi kontrolni protokol.

#### 4.3.6 Source/Destination Identifier

SDI (angl. *source/destination identifier*) uporablja bite 9-10 in ni nujno potreben za prenos podatkov po specifikaciji ARINC 429. SDI se lahko uporablja takrat, ko želimo identificirati

vir, ki pošilja podatke ali pri sistemu z več sprejemniki, da ugotovimo kateremu sprejemniku so podatki namenjeni.

V slednjem primeru pride do tega, da želi sistem poslati podatke točno določenemu podsistemu. Sistem v polje SDI doda binarno kodo, katero mora nato podsistem prepoznati (glej sliko 19). V primeru, da je vsebovana koda "00" to pomeni, da so podatki namenjeni vsem sprejemnikom.



Slika 19: Uporaba SDI v primeru pošiljanja podatkov določenemu sprejemniku.

#### 4.3.7 Oznaka

Vrsta oz. tip informacij v 32-bitni podatkovni besedi je določena s 6-znakovno oznako (angl. *label*). Drug izraz za oznako je tudi identifikator informacij (angl. *information identifier*). Prvi trije znaki so izraženi v osmiškem številskega sistema kodirani v binarnem v prvih osmih bitih podatkovne besede, ki so tudi namenjeni oznaki. Iz teh osmih bitov lahko razberemo (glej preglednico 4):

- informacije ki jih vsebujejo BNR in BCD številske podatkovne besede (razdalja DME, temperatura zraka, itd),
- ter diskretne podatke, podatke o vzdrževanju in AIM podatke.

Drugi trije znaki pa so predstavljeni v šestnajstiškem številskega sistema in iz njih lahko razberemo izvor podatkov. Imenujemo jih tudi ID opreme (glej razdelek 4.3). Za predstavitev teh znakov se uporabijo biti 11-13, ki pripadajo podatkovnemu delu. Oznaka se pri ARINC 429 prenosu sporočila vedno pošlje kot prva od MSB do LSB bita in je nujna za prenos. Oznaki nato sledi prenos preostalih bitov od LSB do paritetnega bita.

Bit	8	7	6	5	4	3	2	1
Osmiška vrednost	1	2	4	1	2	4	1	2

Preglednica 4: Struktura bitov oznake.

Na sliki 20 je prikazan del izpisa oznak iz specifikacije ARINC 429 Part 1. Iz izpisa lahko razberemo osmiško in binarno vrednost oznake, ID opreme ter podatkovni tip. Pod poljem parameter pa je podana razlaga oznake oz. katere podatke vsebuje.

Oznaka (Osmiška)	ID opreme (HEX)	Vrstni red prenosa po bitnih pozicijah								Parameter	Podatki				
		1	2	3	4	5	6	7	8		BNR	BCD	DISC	SAL	
0 0 0	0 X X	0	0	0	0	0	0	0	0	Ni v uporabi					
0 0 1	0 0 2	0	0	0	0	0	0	0	1	Razdalja do cilja		X			
	0 5 6	0	0	0	0	0	0	0	1	Razdalja do cilja		X			
	0 6 0	0	0	0	0	0	0	0	1	Razdalja do cilja		X			
0 0 3	0 0 2	0	0	0	0	0	0	1	1	Celotna razdalja		X			
1 0 3	0 0 1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	Izbrana hitrost	X			
	0 0 2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	Izbrana hitrost	X			
	0 0 3	0	1	0	0	0	0	0	1	1	Izbrana hitrost	X			
	0 1 B	0	1	0	0	0	0	0	1	1	Leva/PDU loputa	X			
	0 2 0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	Izbrana hitrost	X			

Slika 20: Format izpisa ARINC oznak.

## 5. Ocena latence prenosnega omrežja

V pričujočem poglavju se bomo najprej spoznali s pojmom latence v omrežjih. Nadaljevali bomo z že opisanimi načini prenosa sporočil oz. komunikacije med letalom in kontrolo letenja ter predstavili grobo sestavo hipotetičnega prenosnega omrežja. Na koncu se bomo na predstavljenem primeru lotili tudi izračuna latence v letalskem omrežju.

### 5.1 Definicija latence

Pojem latence ali zakasnitve v omrežjih predstavlja čas, ki ga porabi sporočilo za potovanje od oddajnika k sprejemniku [24]. Sestavne dele latence v grobem delimo na:

- latence v povezavi s komunikacijami (optična omrežja, satelitski prenos),
- avdio latence,
- operativne latence,
- mehanske latence,
- latence strojne opreme in operacijskih sistemov ter
- latence v simulatorjih in simulacijah.

V nekaterih primerih, kot je npr. govor ali izvedba funkcij v realnem času, mora omrežje zagotoviti neko maksimalno latenco. V primeru, da je ne zagotovi, se lahko primeri, da aplikacije zaradi časovne nesinhroniziranosti ne bodo delovale. V podatkovnih omrežjih obstaja kar nekaj vzrokov za zakasnitve. Delimo jih v štiri skupine:

- latenca shranjevanja in posredovanja,
- latenca notranjosti stikala,
- latenca prenosnega medija,
- latenca čakalne vrste.

#### 5.1.1 Latenca shranjevanja in posredovanja

Latenca shranjevanja in posredovanja (angl. *store and forward latency*) se nanaša na osnovno načelo delovanja ethernet stikal (angl. *switch*). Stikalo shranjuje dele podatkov oz. okvirja v pomnilnik, dokler ne prejme celotnega paketa oz. okvirja. Stikalo nato pošlje celoten okvir skozi ustrezna izhodna vrata. Celoten čas latence je odvisen od velikosti okvirja (FS) ter bitne hitrosti v bit/s (BR) [25].

$$L_{SF} = FS/BR. \quad (5.1)$$

### 5.1.2 Latenca notranjosti stikala

Notranjost Ethernet stikala je poznana tudi kot "switch fabric" ( $L_{SW}$ ) in je sestavljena oz. zgrajena iz silicija in izvaja funkcije shranjevanja in posredovanja, tabelo MAC naslovov, VLAN in prednostno shemo ethernet okvirjev (t.i. CoS, "class of service"). Latenca notranjosti stikala predstavlja zakasnitev pri izvrševanju logike, ki izvaja te funkcije. Povprečna zakasnitev v teh primerih znaša  $5,2 \mu s$  [25].

### 5.1.3 Latence prenosnih medijev

Osnova za izračun latence katerega koli prenosnega medija je dolžina, ki jo nek paket mora prepotovati. Biti, ki se prenašajo po optičnih vlaknih, potujejo približno  $\frac{2}{3}$  hitrosti svetlobe ( $3 \times 10^8$  m/s). V primeru, da morajo biti prepotovati daljše razdalje, postane čas oz. zakasnitev zelo pomemben dejavnik. Za približno 100 km povezave v eno smer je potrebno

$$L_{WL} = 1 \cdot 10^5 \text{ m} / (0.67 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}) \approx 500 \mu s. \quad (5.2)$$

Zakasnitve na parici so nekje v rangi 4,8-6,7 ns/m [26, 27]. Iz tega lahko predpostavimo neko povprečno vrednost zakasnitve in sicer 5,5 ns/m kar znese približno 53% hitrosti svetlobe. Zakasnitve v rešitvah, ki omogočajo podatkovno izmenjavo podatkov v letalstvu, so odvisne od tipa podatkovne povezave, razdalje in velikosti sporočila. Podatki za ACARS so že navedeni v razdelku, ki opisuje ta sistem. Najbolj razširjen prenos podatkov preko VDL Mode 2 ponuja tudi do 15-krat hitrejši prenos kot ACARS. VDL Mode 2 način ima več kot 99% uspešnost prenosa ti. "uplink" sporočil ter povprečno zakasnitev 1,9s [28].

### 5.1.4 Latenca čakalne vrste

Ethernet stikala uporabljajo ti. čakalne vrste v povezavi z "store and forward" mehanizmom, da bi se izognili problemu, ko več virov naenkrat pošlje paket oz. okvir enemu cilju. Kot vemo se lahko istočasno lahko prenaša samo en paket. Posledično lahko sklepamo, da večja kot je čakalna vrsta, večje oz. daljše zakasnitve lahko pričakujemo. "Class of service" (CoS) uvaja prednostno shemo ethernet okvirjev, da bi zmanjšali problem čakalnih vrst. V primeru, da se je prenos okvirja z nižjo prioriteto že pričel, mora stikalo dokončati trenutni prenos, preden lahko prične s prenosi okvirjev z višjo prioriteto. Povprečno vrednost latence čakalne vrste lahko predstavimo z izrazom

$$L_Q = (\text{Obremenitev}) * L_{SF(\max)}, \quad (5.3)$$

kjer  $L_Q$  predstavlja povprečno latenco zaradi čakalne vrste, obremenitev omrežja predstavlja delež obremenitve omrežja v razmerju do polne zmogljivosti omrežja in  $L_{SF(max)}$  je "store and forward" latenca okvirja polne velikosti (1500 byte) [25].

### 5.1.5 Izračun skupne latence

Iz zgornjih vzrokov, ki povzročajo latence v omrežjih, pridemo do skupne latence omrežja po izrazu

$$L_{SKUPNI} = L_{SF} + L_{SW} + L_{WL} + L_Q. \quad (5.4)$$

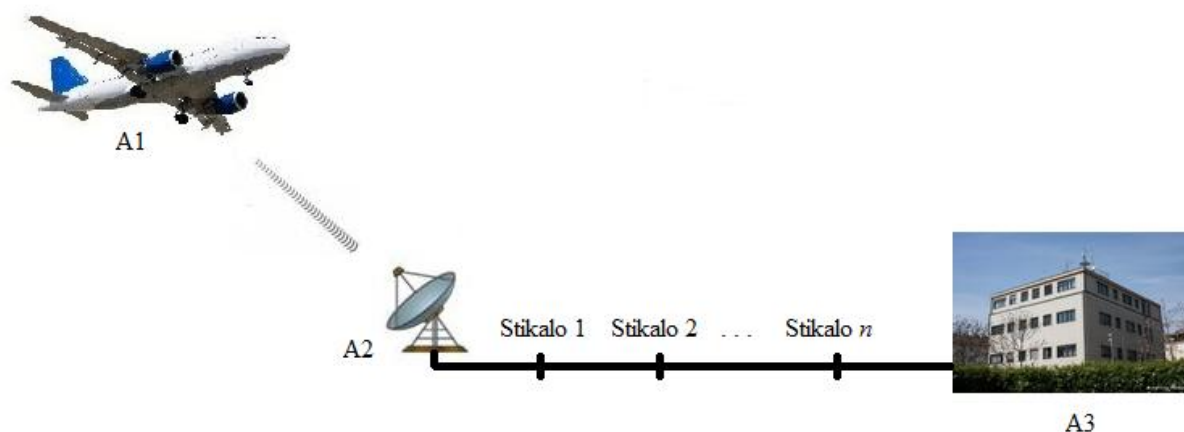
Opisani vzroki za nastanek latence se prištejejo za vsako dodatno stikalo preko katerega mora določen okvir potovati od izvora do cilja. V takem primeru latenco ( $L_{SKUPNI}$ ) predstavimo kot

$$\sum_{i=1}^n [L_{SF_i} + L_{SW_i} + L_{WL_i} + L_{Q_i}] \quad (5.5)$$

kjer spremenljivka  $n$  pomeni število stikal.

## 5.2 Predstavitev hipotetičnega omrežja

Pri predstavitvi omrežja bomo že kot sam naslov pove uporabili neko hipotetično omrežje, za katerega predvidevamo, da ima z radarji vzpostavljen "data link". Zgradbo takega omrežja si lahko ogledamo na sliki 21.



Slika 21: Hipotetična zgradba letalskega telekomunikacijskega omrežja.

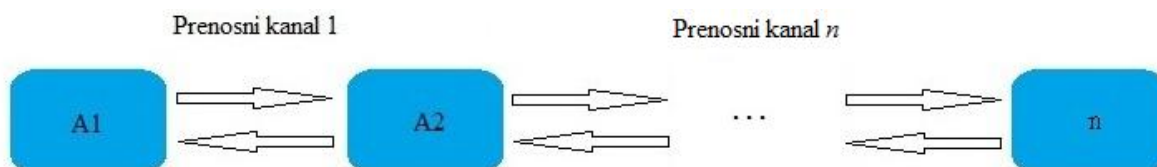
Sporočila se iz letala na zemljo ali obratno prenašajo preko ACARS, VHF digital link 2 ali katere druge podatkovne povezave, ki smo jo omenili v razdelku o podatkovnih

komunikacijah. Glede na to, da imajo podatkovne povezave različne hitrosti prenosa, lahko pričakujemo tudi različne zakasnitve oz. čase prenosa sporočila iz letala do zemeljskih postaj in nazaj. Sporočila nato iz zemeljskih postaj potujejo oz. se prenašajo proti kontroli letenja na različne načine. Prenos sporočila lahko poteka preko optičnih vlaken ali utp kablov. V preglednici 5 je podan krajši pregled sistemov ter prenosnih medijev za prenos sporočila iz letala na zemljo in po njej ter njihove maksimalne hitrosti.

Način prenosa	Hitrost prenosa
ACARS	2400 bit/s
VDL 2	31500 bit/s
VDL 3	31500 bit/s
VDL 4	19200 bit/s
Optični kabel	100 Mb/s – 100 Gb/s
UTP kabel	100 Mb/s

Preglednica 5: Načini prenosa in njihove hitrosti.

Zgornjo sliko je možno predstaviti tudi v shematični obliki (glej sliko 22), kateri bomo dodali tudi različne prenosne kanale preko katerih se neko sporočilo prenaša v eno ali drugo smer.



Slika 22: Shematični prikaz hipotetičnega letalskega telekomunikacijskega omrežja.

### 5.2.1 Prenosni kanal 1

Za prenosni kanal 1 vemo, da se podatki prenašajo brezžično preko enega izmed načinov, ki smo ga omenili v razdelku o podatkovnih komunikacijah (ACARS, VHF Digital Link 2,3,4, UAT...). Način preko katerega se bodo podatki prenesli je odvisen od opreme na letalu ter infrastrukture na zemlji. Prav tako je glede razdalje letala od zemeljskih postaj in izbire načina prenosa pričakovati različne podatke glede zakasnitev pri prenosu sporočil.

### 5.2.2 Preostali prenosni kanali

V trenutku, ko podatki pridejo po prenosnem kanalu 1 do radarjev, se prične prenos teh podatkov po prenosnih kanalih do končnega cilja. Tu gre pričakovati, da se za prenos uporablja parica ali pa prenos poteka preko najetih linij po optičnem kablju. Za izračun časov za prenos sporočila po tem kanalu je potrebno vedeti, da so ključni dejavniki pri prenosu, razdalja, ki jo mora sporočilo prepotovati, velikost sporočila, način prenosa, ter število stikal ( $n$ ).

### 5.3 Ocena latence prenosa podatkov v hipotetičnem omrežju

Kontrola zračnega prometa Slovenije zagotavlja pokritost z radarskim signalom s pomočjo lastnih radarjev, vojaških radarjev in radarske slike iz sosednjih držav. Trenutno pridobivajo podatke iz šestih radarjev, od katerih so trije od njih v njihovi lasti. To sta radarja na Brniku (CHR, BRN) ter radar na Gori Oljki (OLS). Kot smo že omenili pridobivajo podatke tudi iz radarjev sosednjih držav. Dva od njih sta locirana na Italijanskih letališčih v Trstu (RON) in Benetkah (VEN), tretji pa v avstrijskih Koralpah (KOR). Na sliki 23 [29] je prikazana približna pozicija radarjev.

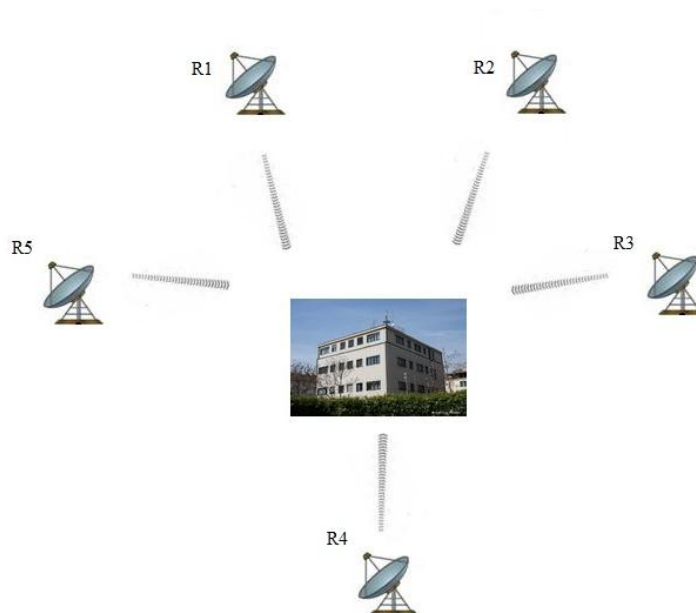


Slika 23: Pozicija radarjev za pridobivanje informacij.

### 5.3.1 Model omrežja in opis načina meritev

Kot smo že omenili kontrola letenja pridobiva podatke iz več radarjev. Osredotočili se bomo na pet izmed šestih radarjev, saj sta dva od njih locirana blizu drug drugemu. To sta radarja CHR in BRN. Na sliki 24 je viden model omrežja. Oznake na modelu, ki jih bomo uporabljali tudi v nadaljevanju, pomenijo naslednje:

- radar R1 – CHR,
- radar R2 – OLS,
- radar R3 – RON,
- radar R4 – VEN in
- radar R5 – KOR.



Slika 24: Model radarskega omrežja.

Za izračun oz. oceno latence si bomo pomagali z ukazom `tracert` v terminalskem oknu Windows okolja, v katerem je bolj poznan pod imenom `tracert`. Gre za ukaz, s katerim lahko ugotovimo pot do nekega računalnika (strežnika) ter izmerimo časovne zakasnitve paketov na tej poti.

Vse meritve smo opravili na sedežu Kontrole zračnega prometa Slovenije na Kotnikovi ulici v Ljubljani, saj smo predvidevali, da bi lahko imeli paketi drugačno in hitrejšo pot do radarja, kot če bi poskušali narediti meritev iz kakšne druge lokacije. Ukaz `tracert` smo pognali ob osmi, dvanajsti in šestnajsti uri. S tem smo želeli pridobiti nek povprečen čas zakasnitev. Ugotovili smo, da časovnih razlik med rezultati ni bilo. Prav tako smo bili seznanjeni, da

kontrola zračnega prometa Slovenije uporablja svoje omrežje za prenos sporočil in podatkov, ki je popolnoma neodvisno od omrežja, ki ga uporabljamo vsakodnevno.

### 5.3.2 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar CHR

Po izvedbi ukaza `tracert` iz lokacije KZPS (Kontrola zračnega prometa Slovenije) smo iz izpisa ugotovili naslednje:

- na celotni prenosni liniji do radarja je latenca 3ms,
- na celotni prenosni liniji do radarja sta prisotna dva usmerjevalnika.

Skušajmo izmerjeno latenco še računsko oceniti. Kot prvo bomo predpostavili, da prenos poteka po parici ter, da je prisotna samo ena prenosna linija dolžine 25 km. Kot primer bomo vzeli velikost okvirja 1500B, bitno hitrost 10 Mb/s ter obremenitev omrežja 25%.

$$L_{SKUPNI} = L_{SF} + L_{SW} + L_{WL} + L_Q \quad (5.6)$$

$$L_{SKUPNI} = (FS / BR) + L_{SW} + L_{WL} + (Obremenitev * L_{SF(max)}) \quad (5.7)$$

$$L_{SKUPNI} = (1500B / 10Mb/s) + 5,2\mu s + (25000m / (0,53 * 3 * 10^8m/s)) + (0,25 * 1500B/10 Mb/s) = 1,144 \text{ ms} + 5,2 \mu s + 157,2\mu s + 286 \mu s = \mathbf{1,59 \text{ ms}} \quad (5.8)$$

Izračun je pokazal, da je latenca pri prenosu 1,59 ms kar je nekoliko manj kot izmerjene 3 ms na KZPS. Ob upoštevanju, da sta na prenosni poti prisotna še dva usmerjevalnika pa pridemo do rezultata 3,18 ms, kar je precej podobno izmerjeni latenci.

### 5.3.3 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar OLS

Po izvedbi ukaza `tracert` iz lokacije KZPS do bližnje lokacije radarja OLS smo iz izpisa ugotovili naslednje:

- na celotni prenosni liniji je latenca 27 ms,
- na celotni prenosni liniji je prisotnih 12 usmerjevalnikov.

Za izračun bomo uporabili identične podatke kot v prejšnjem razdelku. Spremenjena je le razdalja do končne naprave, ki znaša 65 km.

$$L_{SKUPNI} = (1500B / 10Mb/s) + 5,2\mu s + (65000m / (0,53 * 3 * 10^8m/s)) + (0,25 * 1500B/10 Mb/s) = 1,144 \text{ ms} + 5,2 \mu s + 409 \mu s + 286 \mu s = \mathbf{1,844 \text{ ms}} \quad (5.9)$$

Rezultat izračuna latence je 1,844 ms, kar je precej manj kot smo izmerili. Ob upoštevanju, da je na prenosni poti prisotnih dvanajst usmerjevalnikov, se čas prenosa bistveno poveča in sicer na 22.128 ms.

#### 5.3.4 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar RON

Po izvedbi ukaza `tracert` iz lokacije KZPS do letališča Ronchi v Trstu, smo iz izpisa ugotovili naslednje:

- na celotni prenosni liniji je latenca 28 ms,
- na celotni prenosni liniji je prisotnih 11 usmerjevalnikov.

Razdalja do končne naprave je 100 km, izračun pa pokaže naslednjo latenco.

$$L_{\text{SKUPNI}} = (1500\text{B} / 10\text{Mb/s}) + 5,2\mu\text{s} + (100000\text{m} / (0,53 * 3 * 10^8\text{m/s})) + (0,25 * 1500\text{B}/10\text{Mb/s}) = 1,144\text{ ms} + 5,2\ \mu\text{s} + 629\ \mu\text{s} + 286\ \mu\text{s} = \mathbf{2,064\ ms} \quad (5.10)$$

Rezultat izračuna latence je 2,064 ms, kar je podobno kot v prejšnjem primeru manj od izmerjene vrednosti. Ob upoštevanju, da je na prenosni poti enajst usmerjevalnikov, se čas poveča na 22,704 ms.

#### 5.3.5 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar VEN

Po izvedbi ukaza `tracert` iz lokacije KZPS do končne naprave v Benetkah, smo iz izpisa ugotovili naslednje:

- na celotni prenosni liniji je latenca 36 ms,
- na celotni prenosni liniji je prisotnih 20 usmerjevalnikov.

Razdalja, ki jo mora sporočilo prepotovati znaša 230 km.

$$L_{\text{SKUPNI}} = (1500\text{B} / 10\text{Mb/s}) + 5,2\mu\text{s} + (230000\text{m} / (0,53 * 3 * 10^8\text{m/s})) + (0,25 * 1500\text{B}/10\text{Mb/s}) = 1,144\text{ ms} + 5,2\ \mu\text{s} + 1,446\text{ ms} + 286\ \mu\text{s} = \mathbf{2,881\ ms} \quad (5.11)$$

Povprečna izmerjena latenca je 36 ms. Rezultat izračuna, pod pogojem, da je prisotna samo ena prenosna linija je 2,881 ms. Ob upoštevanju, da je na prenosni poti prisotnih 20 usmerjevalnikov je rezultat 57,62 ms.

#### 5.3.6 Izračun zakasnitve na relaciji Kotnikova – Radar KOR

Po izvedbi ukaza `tracert` iz lokacije KZPS do končne naprave v okolici radarja KOR, smo iz izpisa ugotovili naslednje:

- na celotni prenosni liniji je latenca 21 ms,

- na celotni prenosni liniji je prisotnih 8 usmerjevalnikov.

Razdalja, ki jo mora sporočilo prepotovati znaša 120 km.

$$L_{\text{SKUPNI}} = (1500\text{B} / 10\text{Mb/s}) + 5,2\mu\text{s} + (120000\text{m} / (0,53 * 3 * 10^8\text{m/s})) + (0,25 * 1500\text{B}/10\text{Mb/s}) = 1,144\text{ ms} + 5,2\ \mu\text{s} + 755\ \mu\text{s} + 286\ \mu\text{s} = \mathbf{2,190\ ms} \quad (5.12)$$

Rezultat izračuna je tudi v tem primeru manjši od izmerjenega, in sicer 2,190 ms. Rezultat ob upoštevanju, da je na prenosni poti prisotnih 8 usmerjevalnikov, znaša 17.52 ms.

## 5.4 Komentar izračunov latenc

Pri pridobivanju podatkov smo naleteli na kar nekaj težav. Najpomembnejše odkritje je bilo to, da "data link" pri nas trenutno še ni implementiran. Posledično nismo uspeli pridobiti konkretnih podatkov o času prenosa sporočila od plovila v zraku do radarjev. Tudi zgrajene prenosne poti na zemlji niso omogočale točnih meritev, saj so z izjemo radarja CHR vsi ostali radarji s kontrolo letenja povezani s serijskimi linijami.

Pri meritvah latenc smo si pomagali z lokacijami strežnikov, ki so locirani v bližini radarjev. Tako, da so rezultati le nek približek oz. ocena. Le za radar CHR smo lahko pridobili točne podatke, saj je edini, katerega povezava med kontrolo letenja in radarjem sloni na IP protokolu. Pri izračunih smo predpostavili, da prenos sporočil poteka po parici ter da je prisotna samo ena prenosna linija (brez usmerjevalnikov). Tako smo dobili neke optimalne rezultate, kateri pa v stvarnem svetu skorajda niso možni. Po upoštevanju, da so na poti tudi usmerjevalniki, smo dobili rezultate, ki so približno enaki kot izmerjeni časi. Na latenco vplivajo različni dejavniki. Eden od glavnih je razdalja, ki jo mora prepotovati sporočilo. Dejavniki, ki vplivajo na latenco so še velikost podatkov, vrsta prenosnega medija, obremenjenost omrežja ter način prenosa podatkov iz plovila do radarja. Predvsem od slednjega je odvisno kako hitro bodo podatki dostavljeni na zemljo. Kot smo že omenili, naj bi bil čas prenosa sporočila iz letala do radarja preko VDL mode 2, približno 1.9 s. Če temu prištejemo še zakasnitev pri prenosu sporočila na zemlji lahko ugotovimo, da je zakasnitev na zemlji zanemarljiva proti zakasnitvi pri prenosu sporočila po zraku.

## Zaključek

Osnovni cilj, ki sem si ga zadal pri pisanju diplomske naloge je bil, da kolikor je mogoče natančno opišem uporabo in nujnost implementacije podatkovnih povezav v letalskem prometu ter prikažem oceno časovne zmogljivosti hipotetičnega letalskega omrežja pri prenosu sporočil iz letala do kontrole letenja.

Zadnjih nekaj desetletij je prevladovala govorna komunikacija med pilotom in kontrolorjem. Pri tem načinu komuniciranja je prihajalo do različnih težav predvsem zaradi kvalitete zvoka oz. govora. Posledično je zaradi tega prihajalo do napačne interpretacije podatkov. Temu problemu se elegantno izognemo z uporabo podatkovnih povezav, preko katerih se prenašajo tekstovna sporočila s ključnimi podatki glede samega leta letala.

Kot že omenjeno, sem glavni poudarek v diplomski nalogi dal predstavitvi podatkovnih povezav v letalstvu. Bolj podrobno sem se ustavil pri predstavitvi sistema ACARS, kateri je bil razvit za prenos kratkih in relativno preprostih sporočil med letalom in zemeljskimi postajami oz. službami. V nadaljevanju se nisem mogel izogniti predstavitvi ene izmed vodilnih korporacij na področju prometnih komunikacij, korporacije ARINC. Opisal sem njeno sestavo in način delovanja ter se ustavil pri opisu enega izmed vodilnih ARINC protokolov, protokolu ARINC 429, ki določa kako naj na letalu med seboj komunicirajo letalska oprema in sistemi. Vsa ta oprema in sistemi so še kako potrebni za prenos že prej omenjenih podatkovnih sporočil.

Zadnji del diplomske naloge je bil namenjen opisu in predstavitvi pojma latence v omrežjih oz. času, ki ga potrebuje sporočilo za prenos iz letala do kontrole letenja v hipotetičnem letalskem omrežju. Pri izračunu sem naletel na kar nekaj težav, predvsem pri pridobivanju konkretnih podatkov. Nekateri podatki so tajni in do njih nisem imel dostopa oz. pravice do uporabe. Ugotovil sem, da ti. "data link" pri nas še ni implementiran zato rezultati trenutno slonijo zgolj na naših predvidevanjih ter ocenah.

Pri pisanju nisem imel posebnih težav pri pridobivanju virov, saj je le teh kar veliko. Kot problem pa bi lahko izpostavil le, da je gradiva in virov v slovenskem jeziku trenutno še zelo malo. Večina virov je tako zapisanih v angleškem jeziku.

## Kazalo slik

Slika 1: Podatkovna povezava VDL 2.....	6
Slika 2: Podatkovna povezava VDL 3.....	6
Slika 3: Podatkovna povezava VDL 4.....	7
Slika 4: UAT okvir.....	9
Slika 5: UAT povezljivost.....	10
Slika 6: ACARS možnosti prenosa.....	11
Slika 7: ACARS oprema na letalu.....	12
Slika 8: Tabela standardnih ACARS sporočil.....	16
Slika 9: Zvezdna topologija.....	20
Slika 10: Topologija vodila.....	20
Slika 11: Delni seznam opreme po ID-ih.....	22
Slika 12: Zgradba oklopljene parice.....	23
Slika 13: Format besede po standardu ARINC 429.....	23
Slika 14: Vrstni red prenosa ARINC 429 besede.....	25
Slika 15: Splošen format BNR podatkovne besede.....	26
Slika 16: Primer BNR podatkovne besede.....	26
Slika 17: Splošni format BCD podatkovne besede.....	27
Slika 18: Primer BCD podatkovne besede.....	27
Slika 19: Uporaba SDI v primeru pošiljanja podatkov določenemu sprejemniku.....	28
Slika 20: Format izpisa ARINC oznak.....	29
Slika 21: Hipotetična zgradba letalskega telekomunikacijskega omrežja.....	32
Slika 22: Shematični prikaz hipotetičnega letalskega telekomunikacijskega omrežja.....	33
Slika 23: Pozicija radarjev za pridobivanje informacij.....	34
Slika 24: Model radarskega omrežja.....	35

## **Kazalo preglednic**

Preglednica 1: Pregled karakteristik podatkovnih povezav VDL 2, VDL 3 in VDL 4.....	7
Preglednica 2: Prioritete sporočil. ....	25
Preglednica 3: Možnosti uporabe bita 29. ....	26
Preglednica 4: Struktura bitov oznake.....	28
Preglednica 5: Načini prenosa in njihove hitrosti.....	33

## Viri

- [1] A. Kukovec, Letalska frazeologija, Ljubljana: DIOM, 2010, str.1.
- [2] (2011) An Overview of Air Traffic Control. Dostopno na:  
<http://mit.edu/6.933/www/Fall2000/mode-s/atc.html>.
- [3] (2011) International Civil Aviation Conference. Dostopno na:  
[http://www.icao.int/icao/en/chicago\\_conf/index.html](http://www.icao.int/icao/en/chicago_conf/index.html).
- [4] G. Požar, Telekomunikacijski sistemi v letalstvu, 2002, str. 14,46,47.
- [5] (2012) Odredba komisije o zahtevah glede razmika med zvočnimi kanali zrak-zemlja za enotno evropsko nebo. Dostopno na:  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:283:0025:0036:SL:PDF>
- [6] (2011) UAT Manual. Dostopno na:  
[http://portal.aerocivil.gov.co/portal/pls/portal!/PORTAL.wwpob\\_page.show?\\_docname=8039112.PDF](http://portal.aerocivil.gov.co/portal/pls/portal!/PORTAL.wwpob_page.show?_docname=8039112.PDF).
- [7] (2011) Wireless Gatelink. Dostopno na:  
<http://www.aviationtoday.com/av/categories/commercial/996.html>.
- [8] (2011) Aircraft Communications Addressing and Reporting System. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_Communications\\_Addresssing\\_and\\_Reporting\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_Communications_Addresssing_and_Reporting_System).
- [9] (2011) About datalink. Dostopno na: <http://datalink.sas.se>.
- [10] (2011) Datalink message types. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_Communications\\_Addresssing\\_and\\_Reporting\\_System#How\\_it\\_works](http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_Communications_Addresssing_and_Reporting_System#How_it_works).
- [11] (2011) Struktura ACARS sporočila. Dostopno na:  
<http://fpp.hamradio.si/s53ra/xaviation/aviationacars.html>.
- [12] (2011) Struttura del sistema ACARS. Dostopno na:  
[http://www.hoka.com/tech\\_info/systems/acars.htm](http://www.hoka.com/tech_info/systems/acars.htm).
- [13] (2011) Tipi ACARS sporočil. Dostopno na:  
<http://www.universal-radio.com/catalog/decoders/acars.pdf>.
- [14] (2011) AEEC (angl. *airlines electronic engineering committee* ). Dostopno na:  
<http://www.aviation-ia.com/aeec/index.html>.
- [15] (2011) AMC (angl. *avionics maintenance conference*). Dostopno na:  
<http://www.aviation-ia.com/amc/index.html>.
- [16] (2011) FSEMC (angl. *flight simulator engineering and maintenance conference*). Dostopno na: <http://www.aviation-ia.com/fsemc/index.html>.
- [17] (2011) ARINC standards. Dostopno na:  
<http://www.aviation-ia.com/standards/index.html>.

- [18] Cary R. Spitzer, Avionics : development and implementation, Boca Raton, CRC Press, 2007, str. 9-4.
- [19] (2011) Electrical Characteristics. Dostopno na:  
<http://www.ecrin.com/embedded/downloads/ARINC-429-tutorial.pdf>.
- [20] (2011) ARINC Specification 429, Part 1-17. Dostopno na:  
[http://read.pudn.com/downloads111/ebook/462196/429P1-17\\_Errata1.pdf](http://read.pudn.com/downloads111/ebook/462196/429P1-17_Errata1.pdf).
- [21] Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, Computer Networks, Boston, Prentice Hall, 2011, str. 96,97.
- [22] (2011) Cable Characteristic. Dostopno na:  
<http://www.aim-online.com/pdf/OVIEW429.PDF> .
- [23] (2011) ARINC Specification 429, Part 2-16. Dostopno na:  
<http://read.pudn.com/downloads111/ebook/462196/429P2-16.pdf>.
- [24] (2012) Latency (engineering). Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Latency\\_%28engineering%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Latency_%28engineering%29).
- [25] (2012) Latency on a Switched Ethernet Network. Dostopno na:  
[http://www.ruggedcom.com/pdfs/application\\_notes/latency\\_on\\_a\\_switched\\_ethernet\\_network.pdf](http://www.ruggedcom.com/pdfs/application_notes/latency_on_a_switched_ethernet_network.pdf).
- [26] (2012) Zakasnitev na parici. Dostopno na: [www.fri.uni-lj.si/file/127970/visn-1-2-3-k.pdf](http://www.fri.uni-lj.si/file/127970/visn-1-2-3-k.pdf).
- [27] (2012) Propagation delay. Dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Category\\_5\\_cable](http://en.wikipedia.org/wiki/Category_5_cable).
- [28] (2012) The Global Link: A Newsletter for the Aviation Industry. Dostopno na:  
[http://www.arinc.com/news/newsletters/gl\\_11\\_11.pdf](http://www.arinc.com/news/newsletters/gl_11_11.pdf).
- [29] (2012) Lokacijska karta Slovenije. Dostopno na:  
[http://bs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ablon:Lokacijska\\_karta\\_Slovenija](http://bs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ablon:Lokacijska_karta_Slovenija).