



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS

AVIACIJOS PRIETAISŲ KATEDRA

Vydūnas Pakrijauskas

**ORLAIVIO AUTOMATINIO PRIKLAUSOMO STEBĖJIMO (ADS-B) SISTEMOS
SIGNALO TYRIMAS**

**AIRCRAFT AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE-BROADCAST
SYSTEM ADS-B SIGNAL TEST**

Baigiamasis magistro darbas

Elektronikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H61003

Aviacinės elektronikos specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS

AVIACIJOS PRIETAISŲ KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Vydūnas Pakrijauskas

**ORLAIVIO AUTOMATINIO PRIKLAUSOMO STEBĖJIMO (ADS-B) SISTEMOS
SIGNALO TYRIMAS**

**AIRCRAFT AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE – BROADCAST
SYSTEM ADS-B SIGNAL TEST**

Baigiamasis magistro darbas

Elektronikos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H61003

Aviacinės elektronikos specializacija

Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS
AVIACIJOS TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

Elektronikos inžinerijos studijų kryptis

Elektronikos studijų programa, valstybinis kodas 621H61003

Aviacinės elektronikos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei) **Vydūnui Pakrijauskui**

Baigiamojo darbo tema: **Orlaivio automatinio priklausomo stebėjimo (ADS-B) sistemos signalo tyrimas**

patvirtinta 2013 m. spalio mėn. 25 d. dekanų potvarkiu Nr. 247ai.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2014 m. birželio mėn. 2 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Atlikti ADS-B sistemų veikiančių 1090 MHz dažnių ruože, perduodamų duomenų surinkimo, kodavimo ir atkūrimo principų apžvalgą ir perduodamų pranešimų formatų analizę. Atlikti sistemos signalų formavimo ir klaidų aptikimo galimybių analizę. Atlikti ADS-B sistemos eksperimentinius tyrimus. Nustatyti ADS-B sistemos tikslumo ir patikimumo vertes ir aptarti pritaikymo savybes.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas
(Parašas)

doc. dr. Darius Rudinskas
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)
.....
(Vardas, pavardė)
.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Antano Gustaičio aviacijos institutas

Aviacijos prietaisų katedra katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Elektronikos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Orlaivio automatinio priklausomo stebėjimo (ADS-B) sistemos**

modeliavimas ir tyrimai

Autorius **Vydūnas Pakrijauskas**

Vadovas dr. **Darius Rudinskas**

Kalba

X lietuvių

užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama automatinio priklausomo stebėjimo (ADS-B) sistema pakeisianti įprastinę oro erdvės stebėjimo radarų sistemą. Darbe išnagrinėti pagrindiniai sistemos veikimo principai, jos pritaikymas ir sudėtinės dalys, kartu su signalų formavimo ypatybėmis. Atliktas tyrimas sudarytas iš 9 atskirų bandymų apimančių sistemos kokybės patikros, signalo sudėties ir patikimumo įvertinimą. Tyrimas atliktas naudojant atsakiklio tyrimų stendą, kuris atitinka antžeminį ADS-B sistemos segmentą ir orlaivyje įmontuotą atsakiklį, kuris atitinka vartotojo segmentą. Tyrimo metu išnagrinėjamos ADS-B sistemos komunikacijos segmento savybės juos lyginant su naujausia literatūra ir techniniais sistemos įgyvendinimo sprendimais. Išnagrinėjus gautus rezultatus ir literatūrą pateikiamos sistemos tobulinimo rekomendacijos ir tolesnio tyrimo metodikos patobulinimai ir siūlymai.

Darbą sudaro 10 dalių: įvadas, literatūros apžvalga, analitinė dalis, bandymų metodika, tyrimo aprašymas, darbo apžvalga, išvestiniai duomenys, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 71 p. teksto be priedų, 47 pav., 7 lent., 30 bibliografinių šaltinių.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: automatinio priklausomo stebėjimo sistema (ADS-B), atsakiklis, palydovas, komunikacija, skrydžio valdymas, radaras.

Vilnius Gediminas Technical University
Antanas Gustaitis aviation institute
Department of Avionics

ISBN ISSN
Copies No.
Date-....-....

Electronics engineering study programme master thesis.

Title: **Aircraft automatic dependent surveillance – broadcast system ADS-B signal test**

Author **Vydūnas Pakrijauskas** Academic supervisor **Phd. Darius Rudinskas**

Thesis language

☐

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

This master's thesis explores automatic dependant surveillance – broadcast system (ADS-B) which will replace conventional radar based surveillance system in aviation air control management. Thesis consists of general overview of the system operation, its applicability, integration and structure with signal formatting possibilities. Field analysis was made which consists of 9 tests including system quality parameters, signal structure and reliability tests. Analysis was made by transponder interrogation device, referring to ground segment of ADS-B system, and transponder device mounted in aircraft, referring to ADS-B system users. Analysis includes ADS-B system communication segment features, literature analysis together with system implementation decisions. There is listed the conclusions of tests data together with suggestions for further system analysis and recommendations for system implementation possibilities.

Thesis consists of: 71 p. text without appendixes, 47 pictures, 7 tables, 30 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: Automatic dependant surveillance – broadcast, transponder, satellite, communication, air control management, radar.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų
sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo
organizavimo tvarkos aprašo 2011–2012 m. m.
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vydūnas Pakrijauskas, 20083391

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Antano Gustaičio aviacijos institutas

(Fakultetas)

Elektronikos inžinerijos studijų programa, AEfm-12 grupė

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2014m. _____ Birželio mėn. _____ 2 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema Orlaivio automatinio
Priklausomo stebėjimo (ADS-B) sistemos signalo tyrimas

patvirtintas 20 _____ m. _____ d. dekanų potvarkiu Nr. _____, yra
savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar
netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo
mokslininkai ir specialistai: _____

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Darius Rudinskas

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą (projektą) nėra. Jokių įstatymų nenumatytų
piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

VYDŪNAS PAKRIJAUSKAS

(Parašas)

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

Sutrumpinimų sąrašas	9
Paveikslų sąrašas.....	10
Lentelių sąrašas.....	11
IVADAS	12
1. DARBO APŽVALGA.....	13
1.1. Darbo aktualumas ir tikslas	13
1.2. Darbo uždaviniai	14
1.2. Taikomi tyrimų ir analizės metodai	14
1.3. Darbo naujumas ir praktinė nauda	15
2. LITERATŪROS APŽVALGA.....	16
2.1. ADS-B sistemos principas	16
2.2. ADS-B saugumo užtikrinimas	17
2.3. ADS-B ir antžeminės žinutės perdavimo laikas.....	18
2.4. ADS-B Žinutės formavimas.....	18
2.5. ADS-B sistemos neigiami ir teigiami aspektai	19
2.6. ADS-B įgyvendinimas pasauliniu mastu.....	20
3. „AEROFLEX“ TYRIMŲ STENDO ANALIZĖ	22
3.1. Tyrimų stendo valdymas ir indikacija	23
3.2. Tyrimų stendo veikimas	24
3.3. Tyrimų stendo valdymo panelė.....	26
3.4. Tyrimų stendo specifikacija.....	26
3.5. Tyrimų stendo signalų formavimas.....	28
4. BANDYMŲ PASIRINKIMAS, ANALIZĖ IR METODIKA.....	28
4.1. Atsakiklio atsakymo delsos bandymas	31
4.2. Atsakiklio S režimo bandymas.....	33
4.3. Atsakiklio galios bandymas	34
4.4. Galios ir dažnio bandymas	35
4.5. Dažnio bandymas	36
4.6. Skirtumo izoliacijos bandymas	36
4.7. Atsakiklio diagnostiko bandymas.....	37
4.8. Bendra bandymų apžvalga	38
5. TYRIMO OBJEKTO – ATSAKIKLIO ANALIZĖ.....	39
5.1. Atsakiklio apibūdinimas.....	39
5.2. Atsakiklio TIS operacijos	40
5.3. Atsakiklio GTX 330 specifikacija.....	41
5.4. Atsakiklio GTX 330 ekrano indikatoriai.....	41

5.5. Atsakiklio GTX 330 veikimas	42
5.6. Atsakiklio GTX 330 ATCRBS sistemos veikimas	42
6. TYRIMO METODIKOS APRAŠYMAS	47
7. TYRIMO DUOMENYS.....	49
7.1. Atsakiklio dažnio bandymas.....	49
7.2. Atsakiklio galios bandymas	50
7.3. Atsakiklio atsakymo delsos bandymas.....	51
7.4. Skirtumo izoliacijos bandymas	52
7.5. Orlaivio identifikacijos bandymas	53
7.6. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas.....	53
8. PAPILDOMI TYRIMAI	60
9. DARBO SANTRAUKA.....	61
10. IŠVESTINIAI DUOMENYS.....	63
IŠVADOS.....	65
LITERATŪROS SĄRAŠAS	66
PRIEDAI	68

Sutrumpinimų sąrašas

ADS-B – automatinė priklausoma stebėjimo – perdavimo sistema (angl. *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*);

FAA – Federalinė aviacijos agentūra (angl. *Federal Aviation Agency*);

EASA – Europos aviacijos saugumo agentūra (angl. *European Aviation Safety Agency*);

TCAS – transporto įspėjimo ir susidūrimo perspėjimo Sistema (angl. *Traffic Alert and Collision Avoidance System*);

GPS – globali pozicionavimo sistema (angl. *Global Positioning System*);

TIS-B - eismo informacijos perdavimo paslauga (angl. *Traffic Information Service-Broadcast*);

FIS-B - skrydžio informacijos perdavimo paslauga (angl. *Flight Information Service-Broadcast*);

ICAO – Tarptautinė civilinės aviacijos organizacija (angl. *International Civil Aviation Organization*);

UAT – universalus priėmimo atsakiklis (angl. *Universal Access Transceiver*);

ATM – orlaivių eismo valdymas (angl. *Aircraft Traffic Management*);

ATC – orlaivių eismo kontrolė (angl. *Aircraft Traffic Control*);

FAR - federalinį reglamentą (angl. *Federal Acquisition Regulation*);

ATCRBS – oro eismo kontrolės radarų sistema (angl. *Air Traffic System Radar Beacon System*);

FD4 – orlaivio aukščio informacija (angl. *Flight Deck 4*);

ERP – efektyvi spinduliuojamoji galia (angl. *Effective Radiated Power*);

MTL – minimalus sužadavimo lygis (angl. *Minimum Trigger Level*);

DC – nuolatinė srovė (angl. *Direct current*);

AC – kintama srovė (angl. *Alternate current*);

TIS – eismo informacijos sistema (angl. *Traffic Information System*);

TAS – eismo pavojaus sistema (angl. *Traffic Avoidance System*);

TCAS – eismo susidūrimo pavojaus sistema (angl. *Traffic Collision Avoidance system*);

SLS – šoninių skilčių slopinimas (angl. *Side Lobe Suppression*);

DPSK – diferencinis fazės poslinkio išlaikymas (angl. *Differential Phase Shift keying*);

EASA – Europos aviacijos saugumo agentūra (angl. *European Aviation Safety Agency*);

RTCA – Radijo technikos komisija aeronautikoje (angl. *Radio Technical Commission for Aeronautics*);

UHF – ultra aukštųjų dažnių (angl. *Ultra High Frequency*);

UTC – universalusis laikas (angl. *Universal Time Clock*);

MSO – žinutės pradžios galimybės (angl. *Message start opportunities*);

SLS – šoninių skilčių slopinimas (angl. *Side Lobe Suppression*);

Paveikslų sąrašas

1 pav. ADS-B sistemos „In” ir „Out” signalų pasiskirstymas	13
2 pav. UAT laiko skirstymo struktūra, ADS-B žinučių perdavimas.....	14
3 pav. ADS-B žinutės formatas (Moody 2000).....	15
4 pav. ADS-B sistemos informacijos srautų diagram	17
5 pav. IFF-701Ti bandymų stendo valdymo panelė (AEROFLEX 2004).....	19
6 pav. IFF-701Ti bandymų stendo 1-ojo lygio automatinio bandymo galimi rezultatai (AEROFLEX 2004).....	20
7 pav. IFF-701Ti Bandymų stendo 2-mojo lygio automatinio bandymo galimi rezultatai (AEROFLEX 2004)	21
8 pav. IFF-701Ti Bandymų stendo #1 ir #2 meniu (AEROFLEX 2004).....	22
9 pav. IFF-701Ti Bandymų stendo signalų formavimas (AEROFLEX 2004).....	24
10 pav. IFF-701Ti Bandymų stendo ir matavimo objekto bandymo nustatymo atstumų pasirinkimo lentelė	25
11 pav. Bandymų atlikimo metodika ir rekomendacijos vertinant atstumus tarp bandymo objektų.....	26
12 pav. Bandymų atlikimo metodika priklausomai nuo antenos pozicijos orlaivyje.....	26
13 pav. Atsakiklio perdavimo formatas C režimu (AEROFLEX 2004).....	27
14 pav. Atsakiklio atsakymo delsos bandymo galimų rezultatų duomenys (AEROFLEX, 2004).....	27
15 pav. Atsakiklio atsakymo delsos bandymo galimų rezultatų duomenys, antroji bandymo dalis (AEROFLEX 2004).....	28
16 pav. Atsakiklio S režimo bandymo ekrano pavyzdys (AEROFLEX, 2004).....	29
17 pav. Atsakiklio galios bandymo pavyzdys (AEROFLEX, 2004).....	31
18 pav. Dažnio bandymo galimi rezultatai (AEROFLEX, 2004).....	32
19 pav. Skirtumo izoliacijos bandymo pavyzdžiai (AEROFLEX, 2004).....	33
20 pav. Tiriamojo objekto GARMIN GTX 330 atsakiklio panelės vaizdas.....	34
21 pav. ATCRBS sistemos veikimas be šoninių skilčių slopinimo galimybės.....	38
22 pav. ATCRBS sistemos veikimas su šoninių skilčių slopinimo galimybe.....	39
23 pav. ATCRBS sistemos užklausos impulsų formavimas A režimu.....	39
24 pav. DPSK užklausos formavimas.....	41
25 pav. Horizontalių tyrimo pozicijų vaizdas.....	42
26 pav. Bandymų atlikimo aukščiai orlaivio šono atžvilgiu.....	43
27 pav. Bandymų atlikimo aukščiai, orlaivio priekio atžvilgiu.....	43
28 pav. Atsakiklio delsos bandymo rezultatai, C režimo įterpties signalas.....	46
29 pav. Atsakiklio delsos bandymo rezultatai, S režimo atsakymo signalas.....	47
30 pav. Atsakiklio delsos bandymo rezultatai, S režimo atsakymo signalas.....	48
31 pav. Atsakiklio signalo diagnostiko bandymas.....	48

32 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 30° ir 60° nuo orlaivio ašies.....	49
33 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 90° ir 120° nuo orlaivio ašies.....	49
34 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 150° ir 180° nuo orlaivio ašies.....	50
35 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 210° ir 240° nuo orlaivio ašies.....	50
36 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 270° ir 300° nuo orlaivio ašies.....	51
37 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 330° ir 360° nuo orlaivio ašies.....	51
38 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 30° ir 60° nuo orlaivio ašies.....	52
39 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 90° ir 120° nuo orlaivio ašies.....	52
40 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2m, 150° ir 180° nuo orlaivio ašies.....	53
41 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 210° ir 240° nuo orlaivio ašies.....	53
42 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 270° ir 300° nuo orlaivio ašies.....	54
43 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 330° ir 360° nuo orlaivio ašies.....	54
44 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimo antena apdengta aliuminiu danga.....	55
45 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai stendo antena apdengta aliuminiu danga.....	55
46 pav. Vienos iš pozicijų bandymo rezultatai, kai neatsakyti signalai išreikšti procentine išraiška.....	58
47 pav. Suminiai pozicijų bandymo rezultatai, kai neatsakyti signalai išreikšti procentine išraiška.....	59

Lentelių sąrašas

1 lentelė. IFF-701Ti Bandymų stendo valdymo panelės nuorodų apibūdinimas (AEROFLEX 2004).	19
2 lentelė. GTX 330 atsakiklio specifikacijos lentelė.....	36
3 lentelė. GTX 330 atsakiklio ATCRBS pulso pozicija	40
4 lentelė. Atsakiklio dažnio bandymo rezultatai.....	44
5 lentelė. Atsakiklio galios bandymo rezultatai.....	45
6 lentelė. Skirtumo izoliacijos bandymo rezultatai.....	47
7 lentelė. HFOM tikslumo vertės, tarptautiniai standartai.....	57

IVADAS

ADS-B tai automatinė priklausoma stebėjimo sistema, skirta optimizuoti skrydžių saugą pasauliniu mastu. Naudojant šią antrosios kartos oro transporto valdymo ir kontrolės sistemą, pilotai ir dispečeriai turi galimybę matyti tokį patį vaizdą, radare. Ši sistema praplečia TAS ir TCAS, sistemų galimybes. Taip pat ji leidžia matyti oro erdvėje ir tuos orlaivius, kuriuose ADS-B sistema nėra įmontuota. Dviejuose ADS-B signalų ruožuose (1090 MHz – skirta didžiajai aviacijai ir 978 MHz – skirta mažajai aviacijai, FAA oro erdvėje) pozicijos atnaujinimo duomenys yra gaunami kartą per sekundę (senaisiais radarais tik kartą per 12 sekundžių). Signalų ruožas 978 MHz informaciją siunčia vieno trumpo signalų pluošto perdavimo metodu, o 1090 MHz sistemoje ADS-B pozicijos informacijos duomenų signalai suskaidomi į 5 segmentus, dėl informacijos kiekio apribojimų veikiant 1090 MHz režimu.

Planuojama, jog iki 2025 ši stebėjimo sistema pakeis radarus, kaip pirminį stebėjimo metodą, skirta oro transportui valdyti. Ši sistema stipriai padidina saugumą aviacijos transporto sferoje. Ją naudojant stebėjimas yra abipusis – informacija apie aplinkoje esančius orlaivius gali matyti ne tik dispečeris, bet ir pilotas, tai yra didelis privalumas lyginant šią sistemą su senąja radarų sistema TCAS. Senoji radarų sistema galėjo atpažinti (matyti) orlaivius, tik turinčius suderintą borto įrangą, o su ADS-B sistema orlaivis gali matyti kitus orlaivius, netgi neturinčius ADS-B įrangos. (Avionik 2010).

Šios sistemos įdiegimas pasauliniu mastu jau prasidėjo, tačiau iki visiško pritaikymo dar toli. Skirtingos aviacijos agentūros (FAA, EASA ir kt.) šią inovaciją pritaiko skirtingais būdais ir skirtingu periodu, pagal atsakingų agentūrų strateginį planą (Eurocontrol 2003) nuo 2004 metų ADS-B sistemą buvo leista bandyti avionikos prietaisų gamintojams, ir nuo 2010 sertifikuoti pirmieji rinkos bandymai. Pagrindinis aviacijos atsakingų agentūrų tikslas yra optimizuoti perkrautą eismą oro erdvėje. Ši sistema dėl savo tikslumo atsižvelgiant į senąją radarų sistemą gali užtikrinti įgyvendinant didesnę keleivių saugumą ir atstumą tarp orlaivių. Taip pat dėl papildomų galimybių, kurias teikia ADS-B In sistemos segmentas, saugumas oro erdvėje smarkiai padidėja ir šios sistemos patogumas skatina plėsti bendrosios, komercinės ir karinės aviacijos rinkas.

1. DARBO APŽVALGA

1.1. Darbo aktualumas ir tikslas

ADS-B sistema yra esminė dalis planuojamų naujosios kartos oro erdvės valdymo patobulinimų, kurie sukurs didesnes orlaivių pozicionavimo ir duomenų apie juos galimybes. Ši sistema suprojektuota taip, kad atitiktų tarptautinius standartus, todėl siekiant užtikrinti šios sistemos pritaikymą aviacijoje Europos aviacijos saugumo agentūra pradėjo sistemos diegimą. Iki 2018 metų visi orlaiviai, skraidantys EASA kontroliuojamoje zonoje, privalės turėti įdiegtą ADS-B sistemą, tuo pačiu ši sistema bus įdiegta Federalinės aviacijos agentūros iki 2020 metų.

Atsižvelgiant į šios sistemos aktualumą ir siekiant sistemos saugumo ADS-B sistema turi atitikti saugumo standartus (RTCA 2012), pagal radijo technikos komisijos aeronautikoje rekomendacijas. Kadangi visi informacijos mainai pagrįsti koduotais skaitmeninių signalų impulsais, saugumą užtikrinti yra gana sunku. Ši sistema yra svarbi oro transporto valdymo ir kontrolės dalis ateities aviacijoje (Graham 2010).

Šios sistemos tyrimai ir esamos borto įrangos pritaikymas ADS-B sistemai integruojant nesudėtingas modifikacijas yra aktuali netolimos ateities prievolė. Todėl sistemos ar jos dalių tyrimai ir analizė yra svarbi tolygios integracijos dalis atsižvelgiant į regioninės aviacijos poreikius. Lietuvos Respublikos Civilinės aviacijos administracija, LR CAA, šiuo metu vadovaujasi tarptautiniais teisiniais reikalavimais, ir jokių papildomų įrangos tyrimų neatlieka.

Darbo tikslas – išnagrinėti ADS-B sistemos, (1090 MHz) UHF, veikimo principą, duomenų formavimą ir skaitmeninimą, duomenų kodavimą ir atkūrimą. Išnagrinėti naujausią literatūrą ir tarptautinius reikalavimus sistemai įgyvendinti. Analizuojant įrangos techninę dokumentaciją sudaryti tyrimų metodiką ir atlikti tiesioginį ADS-B sistemos segmento tyrimą naudojant realią aviacinę radijo įrangą ir tyrimų įrangą. Aptarti gautus rezultatus juos lyginant su naujausios literatūros duomenimis. Suformuluoti išvadas ir rekomendacijas įrangai patobulinti ir tolesniam mokslinio darbo tęsimui įgyvendinti.

1.2. Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti suformuluoti šie uždaviniai:

1. Atlikti ADS-B sistemos taikymo ir veikimo principo literatūros analizę.
2. Atlikti duomenų srautų (duomenų formavimo, siuntimo ir gavimo) analizę.
3. Išaiškinti sistemos veikimo apribojimus ir duomenų kokybę bei saugumą.
4. Patikrinti AEROFLEX įrenginio IFF-701Ti atsakiklio/klausiklio prietaiso galimybes ir išnagrinėti prietaiso dokumentaciją.
5. Išanalizuoti tiriamojo GTX 330 atsakiklio techninius parametrus.
6. Suformuluoti tyrimo tikslus ir bandymų metodikas atsižvelgiant į tiriamąjį objektą ir techninę dokumentaciją.
7. Atlikti ADS-B sistemos segmento tyrimą pagal suformuotas metodikas ir pateikti gautus bandymų duomenis.
8. Aptarti gautus duomenis, šios sistemos pritaikymo būtinybę, jos kokybės, saugumo ir patikimumo rodiklius atsižvelgiant į naujausią literatūrą ir tarptautinius reikalavimus.
9. Suformuluoti išvadas, pateikti savo nuomonę atsižvelgiant į gautus rezultatus ir sistemos perspektyvas bei tyrimo pobūdį kartu su baigiamojo darbo tęstinumo perspektyva ir bandymų metodikų patobulinimo galimybėmis.

1.2. Taikomi tyrimų ir analizės metodai

Darbe vadovautasi literatūros sąrašė nurodyta techninė dokumentacija (tyrimų stendo veikimo techniniais vadovais, matuojamo įrenginio operacijų vadovais ir instaliavimo vadovais). Atliktas realus atsakiklio (GTX 330) parametrų tyrimas panaudojus IFF-701Ti įrenginį, skirtą nuotoliniams atsakiklio bandymams. Bandymų metodika sudaryta naudojant įrangos techninėje dokumentacijoje pateiktas rekomendacijas bei nurodymais siekiant ištirti ADS-B segmento – bendrosios aviacijos atsakiklių su S režimo galimybėmis sistemą. Atsižvelgiant į prietaiso galimybes ir gautus duomenis, rezultatai susisteminti į matavimų duomenų grafikus, rezultatų procentines išraiškas ir signalo parametrų laiko intervalų grafikus.

1.4. Darbo naujumas ir praktinė nauda

Šiame darbe išanalizuota ADS-B sistema ir atliktas realus tyrimas – ADS-B signalų atžvilgiu, naudojant S režimo atsakiklį. S režimo atsakikliai yra plačiai naudojami bendrojoje, komercinėje ir karinėje aviacijoje. Šie atsakikliai sudaro vieną iš svarbiausių ADS-B sistemos segmentų ir yra tiesiogiai susiję su oro erdvėje esančių orlaivių pozicijos, greičio, aukščio ir kita informacija. Šiuo metu ADS-B sistema nėra privaloma tačiau, sparčiai diegiama orlaiviuose. Rinkoje esančių aplikacijų savybės skiriasi viena nuo kitos, todėl sistemos paklaidos ir signalo prieinamumas taip pat skirtingas (Paper 2013).

Darbo metu apžvelgta naujausia literatūra ir reikalavimai susiję su ADS-B sistemos pritaikymu ir veikimu, taip pat išanalizuota ir techninė įrangos dokumentacija. Tikrinami atsakiklio signalo formavimo, kokybės ir patikimumo parametrai, kurie gali turėti įtakos klaidingai orlaivio pozicijai nustatyti ar visiško signalo praradimui įvykti.

Kadangi radijo navigacijos sistemos nėra idealiai tikslios, būtina patikrinti, ar naujai integruojama oro eismo kontrolės ir stebėjimo sistema yra pakankamai tiksli ir patikima atsižvelgiant į gamintojo nurodytus reikalavimus. Panašaus pobūdžio analizės ir tikrinimo darbų, skirtų konkretaus rinkos produkto analizei nėra atlikta (atlikti teoriniai arba praktiniai matavimai su savadarbiais įrenginiais), taip pat gamintojai nurodo tik konkrečią patikimumo vertę (dažnai išreikšta procentine išraiška), todėl patikrinti sistemos veikimo galimybes objektyviai yra korektiška.

Gautus duomenis ir rezultatus galima pritaikyti kaip formuluojamas rekomendacijas tolesniam sistemos patobulinimui. Darbo tyrimo metu suformuluotose bandymų metodikose nurodomos patikslintos galimybės ADS-B signalui tirti ir baigiamojo darbo tęstinumui įgyvendinti.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

2.1. ADS-B sistemos principas

ADS-B sistema yra ateities oro transporto valdymo metodas. Apdorojant signalus, gautus iš GPS sistemos, skrydžių valdytojai gali daug tiksliau išlaikyti ir kontroliuoti judėjimą kontroliuojamoje oro erdvėje. Tai leidžia įgyvendinti mažesnius atstumus tarp orlaivių, suteikia daugiau galimybių tiesioginiam orlaivių valdymui tobulinti ir procedūrų modernizacijai atlikti. Visi šie privalumai galimi kai orlaiviai yra arti vienas kito visose skrydžio stadijose, įskaitant ir artėjimą, atvykimą ir išvykimą. Ši sistema modernizuos senstančią ir mažiau tikslią radarų stebėjimo sistemą visame pasaulyje (Vigier 2011).

ADS-B veikia konvertuodama orlaivio globalios pozicijos koordinates į unikalų skaitmeninį kodą ir sujungia jį su informacija nusakančia lėktuvo tipą, jo greitį, skrydžio numerį, meteorologijos duomenis, orlaivio vertikalų greitį – žemėjimą ar aukštėjimą. Kodas su visa šia informacija yra automatiškai perduodamas orlaivio ADS-B siųstuvui ar atsakikliui vieną kartą per sekundę. Toks informacijos komplektas vadinamas ADS-B „Out“.

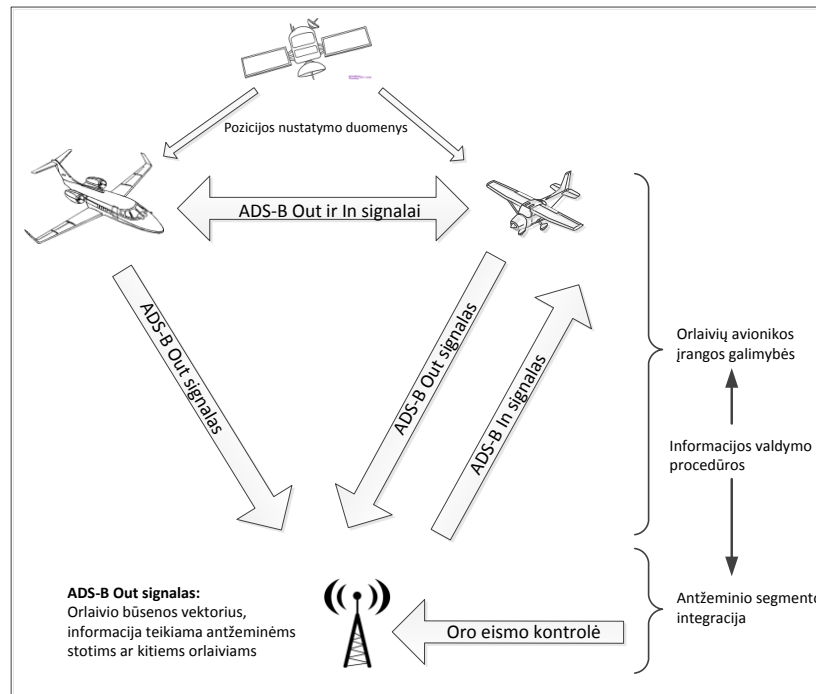
ADS-B antžeminės stotys, esančios 320 km atstumu nuo siųstuvo, gali priimti šiuos informacinius signalus ir papildyti ją informacija apie orlaivį ar radarais pagrįstus kitus oro eismo dalyvius. Antžeminės stotys gali išsiųsti informacinį paketą apie erdvėje esančius orlaivius ne tik orlaiviams turintiems integruotą ADS-B sistemą, bet ir tiems, kurie jos neturi, naudojant kitas sistemas. Šiame signale, kuris vadinamas TIS-B, išsiunčiama informacija visiems orlaiviams, esantiems kontroliuojamoje zonoje (neatsižvelgiant, ar jie turi integruota ADS-B sistemą, ar ne). Taip pat antžeminės stotys prideda orų informaciją iš nacionalinės meteorologinės stoties ir skrydžio informaciją (tokia kaip laikini skrydžio apribojimai) – FIS-B. Orlaiviai, kurie turi galimybę ir integruotą įrangą gauti tokią informaciją iš antžeminių stočių, yra laikomi kaip turintys ADS-B „In“ galimybę. Tokiu atveju pilotai gali matyti visą oro eismo informaciją savo monitoriuose arba integruotuose daugiafunkciniuose monitoriuose (Freeflight 2011).

Skrydžių valdytojai, esantys antžeminėse valdymo stotyse, galės tiesiogiai matyti visą šią informaciją, taip pat kaip orlaiviuose įmontuotuose borto ekranuose. Vienintelė modifikacija, kurią reikės pritaikyti, yra naujos sistemos stebėjimo mokymai. Skrydžių valdytojams, esantiems žemėje, ir orlaiviams, esantiems ore.

ADS-B „In“ ir „Out“ informacijos paketai yra išskirti į du skirtingus dažnių lygius:

- 1090 MHz – šį dažnį naudoja orlaiviai, turintys S režimo atsakiklius tik tokiu atveju, kai orlaiviuose yra sumontuota tam skirta įranga, pats atsakiklis gali veikti kaip ADS-B imtuvas-siųstuvas.

- 978 MHz (tik FAA kontroliuojamoje erdvėje, bendrosios aviacijos orlaiviuose) – kartais dar vadinami universalaus priėmimo atsakikliu, UAT šis dažnis rezervuotas orlaiviams, skraidantiems žemiau 180 skrydžio lygio. Šis dažnis turi didesnę pralaidumą nei 1090 MHz, taip pat jis yra mažiau perpildytas, todėl duomenys gali būti siunčiami orlaiviui iš antžeminių stočių patikimiau (Freeflight 2011).



1 pav. ADS-B sistemos veikimo principo schema

2.2. ADS-B saugumo užtikrinimas

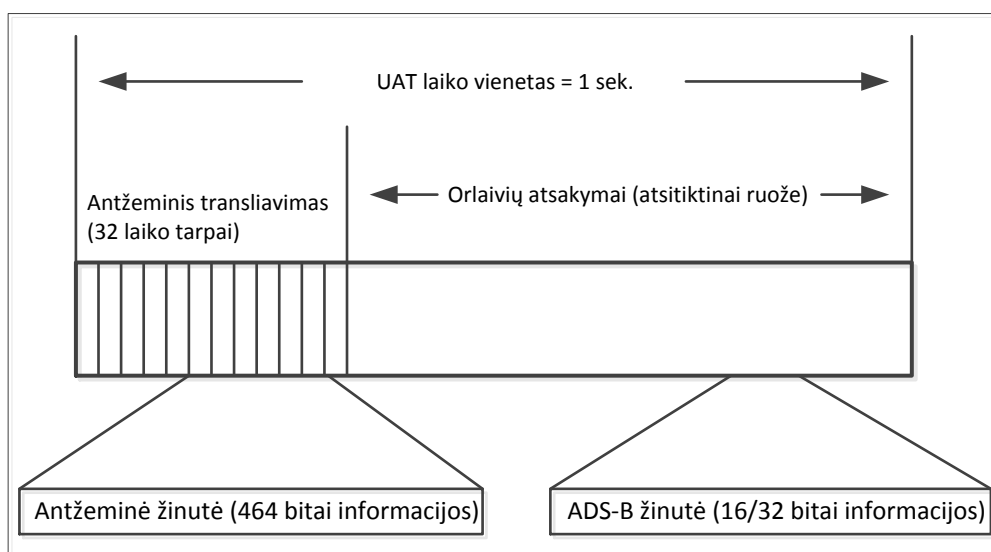
Tarptautinė civilinės aviacijos organizacija (ICAO) 2011 metais pristatė ADS-B įgyvendinimo ir vykdymo dokumentą - „Saugumo agentūros prioritetas ir šios naujosios sistemos pristatymas ir vykdymas turi būti užtikrintas esąs saugus. Saugumo įvertinimas turi būti įvykdytas sistemai veikiant ir jos saugumas turi būti užtikrintas ateities patobulinimo atžvilgiu“ (ICAO 2011). Dokumente nurodyti šie punktai:

- identifikuoti sutrikimo sąlygas;
- nustatant kritiškos būklės ribas;
- nustatant rizikos tikimybių priežastis;
- identifikuoti lengvinančias aplinkybes;
- suskirstyti rizikos laipsnius į kategorijas;
- vykdymo nukrypimai ID procese.

Šie saugumo įvertinimai privalomi ir šalys privalo užtikrinti reikiamus matavimus ir pavojingų sąlygų identifikavimą, kurios nėra įtrauktos į kategorijas ir nepriimtinos. Tai turi būti padaryta atsižvelgiant į žmonių saugumą (ICAO 2011).

2.3. ADS-B ir antžeminės žinutės perdavimo laikas

2 paveiksle parodytas laiko pasiskirstymas perduodant UAT žinutę. UAT sistemoje (orlaivyje integruota sistema, kuri turi galimybę išsiųsti ADS-B „Out“ signalą ir priimti ADS-B „In“ signalą), siunčiamo signalo (žinutės) pluoštas yra svarbiausias laiko vienetas. Pluoštai yra vienos sekundės trukmės ir prasideda kartu su kiekviena universalusis laikas (UTC) ar GPS sekunde pasauliniu mastu. Kiekvienas informacijos pluoštas yra suskirstytas į du segmentus: 1) segmentas, kuriame įvyksta antžeminės žinutės perdavimas; 2) segmentas kuriame įvyksta ADS-B žinutės gavimas.

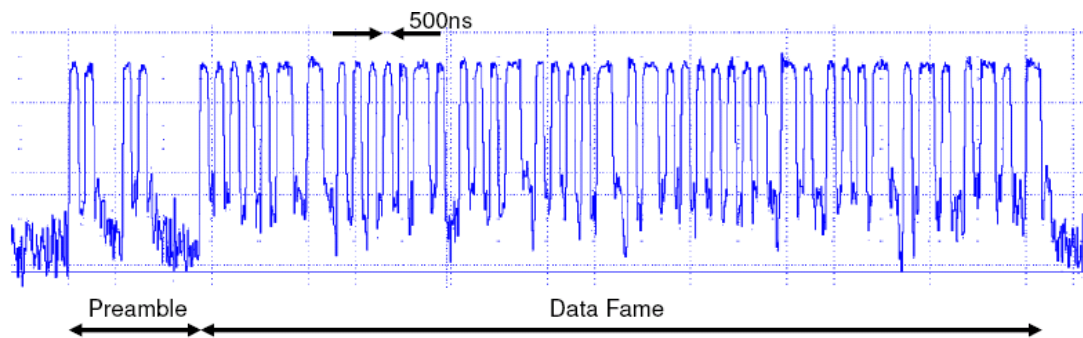
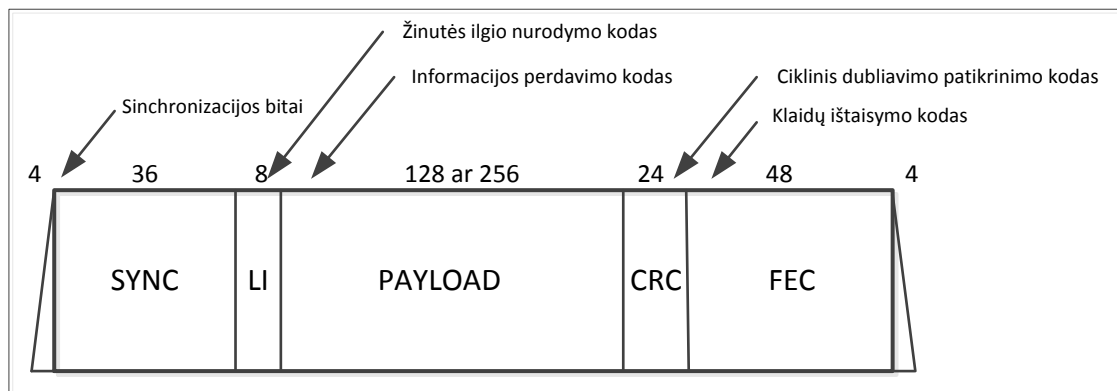


2 pav. UAT laiko skirstymo struktūra, ADS-B žinučių perdavimas

Kiekvienas antžeminio transliavimo segmentas yra skirstomas į žinutės pradžios galimybes (MSO), Message start opportunities), tarp kurių impulsų tarpai siekia 250 μ s – 4000 MSO pluošte. MSO sudaro nedidelę dalį laiko kurio metu yra formuluojama antžeminės ADS-B žinutė (Moody 2000).

2.4. ADS-B Žinutės formavimas

Viena ADS-B žinutė yra išsiunčiama iš vieno orlaivio kas sekundę. 3 paveikslas parodo formatą ir komponentus, kurie sudaro ADS-B žinutę. 3 paveiksle, skiltyje, PAYLOAD, yra sukaupta informacija, kuri gali būti 128 arba 256 bitų dydžio. Kai šioje skiltyje informacijos dydis yra 128 bitai, tai vadinama paprastuoju ADS-B formatu (angl. *Basic ADS-B message format*), žinutės ilgio atpažinimo kodas yra koduojamas – 0F hex, jį sudaro 8 bitai. Kai žinutė yra 256 bitų dydžio, tai vadinama ilgoji ADS-B žinutė (angl. *Long ADS-B message*), tokiu atveju ilgio atpažinimo kodas yra koduojamas – F0 hex.



3 pav. ADS-B žinutės formatas (Moody 2000)

PAYLOAD skiltis žinutėje talpina tikrąją ADS-B informaciją reikalinga ADS-B gavėjui ir naudotojui sudėlioti dalyvavimo raportui. Šių raportų duomenų elementai yra apibūdinami minimalių aviacinių sistemų veikimo standartais skirtais automatinės priklausomos stebėjimo-perdavimo sistemos atžvilgiu.

CRC tai 24 bitų skiltis, skirta cikliniam dubliavimo patikrinimo kodui (angl. Cyclic redundancy check);

FEC – 48 bitų skiltis - tai klaidų ištaisymo kodas (angl. Forward Error Correcting code).

2.5. ADS-B sistemos neigiami ir teigiami aspektai

ADS-B sistemos principas yra gan paprastas: ADS-B integruota sistema orlaivyje transliuoja tekstą klaidos kodu (angl. *error - code*) susietas žinutes per radijo siųstuvo kanalus vieną kartą per sekundę. Tokios žinutės savyje turi informaciją apie orlaivio – poziciją, greitį, identifikacijos numerį ir kitą ATC/ATM, Oro Eisimo Kontrolės (angl. *Air Traffic Control*) / Oro Eisimo Valdymo (angl. *Air Traffic Management*) informaciją. Orlaivio vietos nustatymui ADS-B yra suprojektuota naudoti GPS sistemą. ADS-B gali būti naudojama šiems tikslams ir turi šias teigiamas puses:

- Padidintas saugumas oro transporto vadyboje ir valdyme. Stipriai patobulina situacijos suvokimą oro erdvėje pilotų atžvilgiu teikiant jiems galimybę tiesiogiai stebėti oro erdvę taip pat kaip tai daro skrydžių dispečeriai. Pilotai turės galimybę gauti duomenis iš kitų, greta esančių orlaivių apie oro sąlygas ir aplinką.
- Patobulintas oro eismo konfliktų aptikimas ir raiška. ADS-B suteiks galimybę orlaiviams žinoti apie savo poziciją erdvėje neatsižvelgiant į senąją radarų infrastruktūrą.
- Optimizuotas ir supaprastintas oro eismas. Tradicinė pasyvioji radarų sistema turi gan mažą raišką, todėl orlaivių vietos nustatymo tikslumas priklauso kaip toli orlaiviai yra nuo radaro. Paprastai radarai neturi galimybės nustatyti orlaivio aukščio. ADS-B sistema turi daug tobulesnę vietos koordinatų nustatymo raišką ir efektyvumo ribą – 340 km. Todėl tikimasi jog ADS-B sistema leis daug geriau išnaudoti oro erdvę leisdama sumažinti atstumus tarp orlaivių – ypač dideliuose aerouostuose.

Nuo to laiko kai ADS-B buvo pritaikyta praktikoje ir pakeitė skrydžio eigą bei dalį žmogiškųjų sprendimų, taip pat kai sistema tiesiogiai įtakojo oro eismo sąlygas ir saugumą ADS-B sistemai buvo pradėti taikyti veikimo, vykdymo ir saugumo reikalavimai. ADS-B sistema pasižymi apsaugos mechanizmų saugumo trūkumais:

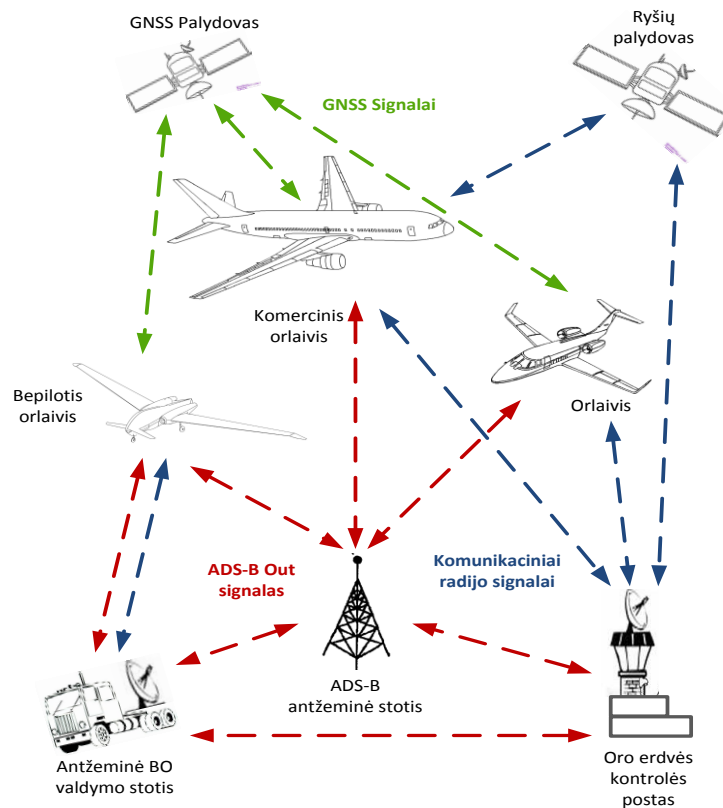
- Parazitinės informacijos įterpimas į siunčiamas ar gaunamas žinutes (sistemą) (Duan 2012);
- Orlaivių registracijos - autentifikavimo skilties žinutėje trukdžiai – klastojimas;
- Trūkumas apsaugos mechanizmų, kurie trukdytų vykti pasikartojantiems išpuoliams;
- Saugumo trūkumas užkertantis kelią pašaliniais vienetams gauti privačią informaciją (Rudinskas 2009).

2.6. ADS-B įgyvendinimas pasauliniu mastu

ADS-B sistema yra sparčiai vystoma pasauliniu mastu. Australija, Europa, Kanada, Indonezija, Kinija ir JAV pradėjo vystyti programą siekiant integruoti ADS-B sistemą į jau esamą oro kontrolės tinklą.

Europa, Kanada ir Australija siūlo vieną 1090 MHz tinklo sąsają. Australų analizė parodė jog 1090 MHz tinklas nebus stipriai brangesnis nei UAT tinklas pritaikytas bendrajai aviacijai FAA. Taip pat Australijos aviacijos agentūros nesuteikia galimybės orlaiviams gauti informaciją apie meteorologines sąlygas iš nacionalinių centrų.

Europa, Kanada ir Australija pritaikė naują DO260A standartą, kuris išskirsto kokybišką informaciją, kuri gali būti siunčiama per vyriausybinius oro kontrolės punktus. Tiksliai informacijai gauti šiuo standartu orlaivis turi turėti ADS-B „Out“ funkciją, tačiau ADS-B „In“ funkcija jam yra nebūtina. Šis standartas kilęs iš vis dar veikiančios radarais pagrįstos infrastruktūros (Eurocontrol 2012).



4 pav. ADS-B sistemos informacijos srautų diagrama

Kadangi ADS-B sistemos konceptas yra paprastas, tačiau pati sistema technologinių atžvilgių yra žymiai sudėtingesnė, EASA kontroliuojamoje erdvėje UAT principu veikiančio ADS-B segmento nebus. Bendrosios, komercinės ir karinės aviacijos orlaiviuose privaloma naudoti tuo pačiu dažniu veikiančią borto įrangą.

3. „AEROFLEX“ TYRIMŲ STENDO ANALIZĖ

I IFF-702Ti yra įmonės „Aeroflex“ aviacinių siųstuvų - imtuvų patikrinimo aparatas. Jis skirtas tiksliai išmatuoti atsakiklių ir kito panašaus tipo aviacinių siųstuvų dažnio, galios ir imtuvo jautrumo parametrus. Šiuo įrenginiu galima pasirinkti tris skirtingus matavimo funkcinis metodus:

- 1) atsakiklio bandymai;
- 2) įterpties bandymai;
- 3) TCAS (susidūrimo perspėjimo) sistemų bandymai.

Bet kuris iš šių metodų yra pasirenkamas FUNC SEL mygtuku.

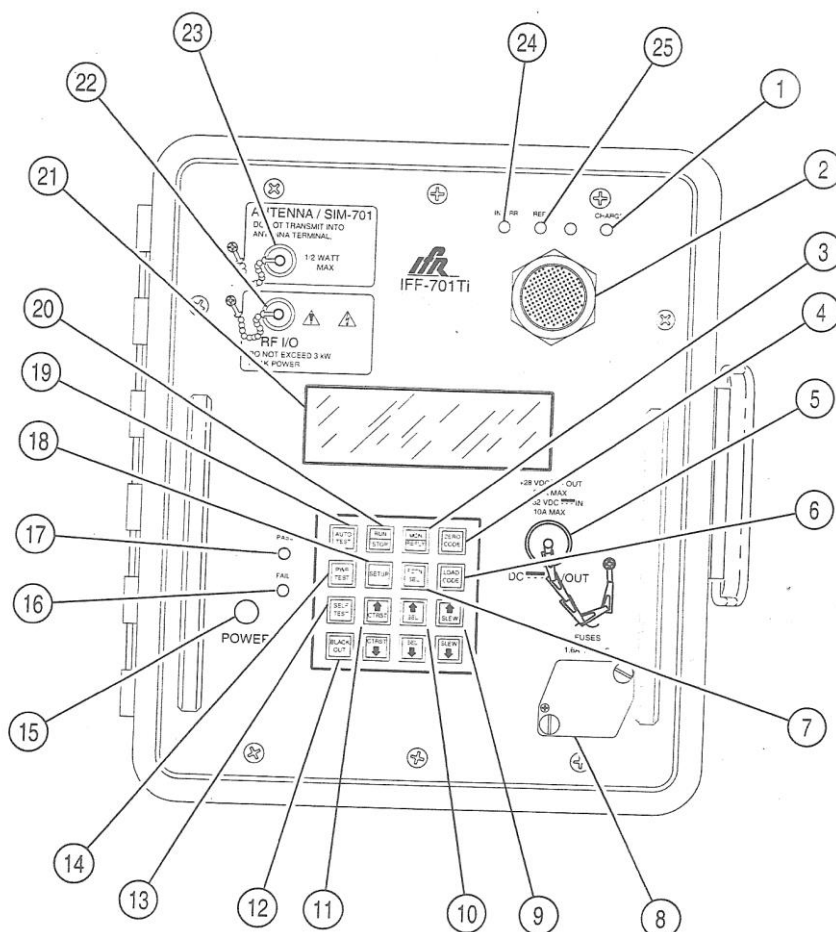
IFF-701Ti teikia išsamias automatinių bandymų funkcijas, kurios leidžia operatoriui nustatyti ir įvertinti MK10A, MK12, MK12/Mode S atsakiklių veikimą, kartu minimaliai darant poveikį jų veikimu, kai bandymas yra pradėtas. Įterpties bandymai yra pusiau automatiniai.

Bandymai gali būti įgyvendinami nuotolinio veikimo būdu, kai tikrinamas atsakiklis yra veikiantis, o orlaivis yra tam tikrame aukštyje, arba tiesioginės sąsajos būdu. Tokiu atveju bandymų stendas yra jungiamas tiesiogiai prie tiriamojo atsakiklio - įterpiklio.

Taip pat tam tikri bandymai, nurodyti operacijų vadove, gali būti įgyvendinami individualiai taikant diagnostikos metodus, siekiant tikrinti rutininį veikimą techninės priežiūros metu. Šio tipo bandymai baigiamajame darbe sumodeliuoti atsižvelgiant į darbo tikslą.

IFF-701Ti bandymų stendas yra apsaugotas nuo aplinkos veiksnių ir gali būti naudojamas bet kokiomis meteorologinėmis sąlygomis. Tai leidžia išvengti paklaidų, atsirandančių dėl meteorologinių sąlygų pasikeitimų matavimų metu.

3.1. Tyrimų stendo valdymas ir indikacija



5 pav. IFF-701Ti Bandymų stendo valdymo panelė (AEROFLEX 2004)

1 lentelė. IFF-701Ti Bandymų stendo valdymo panelės nuorodų apibūdinimas (AEROFLEX, 2004)

Numeris	Pavadinimas	Numeris	Pavadinimas
1	Baterijos įkrovimo indikacija	14	PWR TEST mygtukas
2	RYPTO/UTILITY jungtis (J36001)	15	POWER mygtukas
3	MON/REPLY mygtukas	16	FAIL indikatorius
4	ZERO CODE mygtukas	17	PASS indikatorius
5	DC IN/OUT jungtis	18	SETUP mygtukas
6	LOAD CODE mygtukas	19	AUTO TEST mygtukas
7	FCTN SEL mygtukas	20	RUN/STOP mygtukas
8	AC PWR jungtis/saugiklio laikiklis	21	EKRANAS
9	SLEW mygtukai	22	RF I/O jungtis (J10058)
10	SELECT mygtukai	23	Antenos jungtis (J10057)
11	CONTRAST mygtukai	24	Įterpties indikatorius
12	BLACK OUT mygtukas	25	REPLY indikatorius
13	SELF TEST mygtukas		

3.2. Tyrimų stendo veikimas

1-ojo lygio automatinis režimas:

PWR UP laukelis pirmajame meniu nusako automatinio bandymo režimą ir yra galimas, kai įjungiamos sistemos pilonas. Jei 1ST/L (angl. *1st Line Auto Test*) yra pasirinktas, ekranas yra aktyvuojamas paspaudus AUTO TEST mygtuką. 1-mojo lygio automatinio bandymo režimas yra naudojamas paprastajam bandymui („nukreipti ir paspausti“, angl. *point and press*), naudojant rankoje laikomą kryptinę anteną. Diametrinis bandymas yra naudojamas pavirtinti, jog efektyvioji spinduliuojama galia ERP (angl. *Effective Radiated Power*) ir minimalus sužadinimo lygis MTL (angl. *Minimum Trigger Level*) yra reikiamose ribose. Šis bandymas yra nepriklausomas nuo atstumo tarp antenos ir atsakiklio, tačiau turi būti vykdomas 6-250 (1,8- 76,2 m.) atstumu. pėdų atstumu.

Režimai yra patikrinami tam tikrais vidiniais aparatūros metodais ir tik juos pritaikius yra nurodoma, ar tinkamumo/netinkamumo ribos PASS/FAIL yra tinkamos pagal nustatytus parametrus CONFIG ekrano zonoje.

Įgyvendinant 4 režimo atsakymo žinutės bandymą („Mode 4“), operatorius yra įpareigotas pakeisti matuojamo atsakiklio valdymo panelės nustatymus, siekiant patvirtinti priskirtą A/B kodą, vadinamą „crypto A/B“ kodu, ir patvirtinti 1 bito funkciją atsakiklyje. Šis bandymas gali būti nustatytas ir be operatoriaus įsikišimo, tačiau tokiu atveju atsakiklyje galima patvirtinti tik A kodą.

1-ojo lygio automatinio bandymo teisingo įgyvendinimo atveju aparatūros informaciniame ekranėlyje galima matyti šiuos parametrus: nustatytus režimus, režimų įgyvendinimo indikaciją, ERP/MTL atitikimą arba neatitikimą ir LOBING atitikimą arba neatitikimą (jei tai yra nustatyta konfigūracijos metu prieš bandymą). LOBING indikacinis laukelis ekrane nurodo teisingą bandymo įgyvendinimą rankinės radijo antenos atžvilgiu. DIST laukelis yra naudojamas operatoriaus siekiant patvirtinti apytikslį atstumą tarp antenos ir tiriamojo objekto bandymo metu (AEROFLEX 2004).

```

** 1st LINE AUTO TEST - PASSED **
MODE TESTED-C,1,2,3          FRQ:1090.00 MHz
MODE PASSED-C,1,2,3          ERP/MTL: PASS
MODE FAILED-                  DIST: 16-32 ft
CONFIG: MK10A                 LOBING ANT: PASS
                             Press RUN TO start

```

6 pav. IFF-701Ti bandymų stendo 1-ojo lygio automatinio bandymo galimi rezultatai (AEROFLEX 2004)

Kiekvieno individualaus bandymo detalūs rezultatai yra parodomi ekrane paspaudus AUTO TEST mygtuką ir yra išsaugojami atmintyje. Jie gali būti peržiūrimi paspaudus SELECT mygtukus. Kai pasirinktas bandymas yra pradedamas paspaudus RUN/STOP mygtuką, jis tęsiamas tol, kol tas pat mygtukas yra paspaudžiamas dar kartą.

Tiesioginio prisijungimo leidimas tiriamojo objekto galios bandymo (angl. *POWER TEST*) metu yra galimas 1-ojo lygio automatinio bandymo metu ir jis naudojamas patikrinti maitinimo ir LOBING mygtukų nuostoliams patikslinti prie nustatymo meniu aparato įgyvendinančio 1-ojo lygio bandymą, yra negalimas

2-ojo lygio automatinio bandymo režimas gali būti įjungiamas, kai IFF-701Ti yra 1-ojo lygio režime du kartus paspaudus bendrą stendo įjungimo mygtuką.

2-ojo lygio automatinis režimas:

Kai 2ND/L režimas yra pasirenkamas pirmajame meniu, IFF-701Ti aparatas pradės veikti 2-ojo lygio automatinio bandymo režimu. 2-ojo lygio bandymo ekranas bus rodomas paspaudus AUTO TEST mygtuką. Paspaudus „SETUP“ mygtuką aparatas leis naudotis nustatymo meniu.

2-ojo lygio automatinis režimas leidžia preciziškai matuoti objektus, esančius ore, ir nustatyti jų ERP ir MTL vertes naudojant kryptinę anteną. Aukščio ir atstumo parametrai yra įvedami naudojant pirmąjį nustatymo meniu.

Šis režimas gali būti naudojamas periodiškai patikrinti instaliuotą įrangą ir stebėti matuojamo objekto ar jo antenos veikimo pablogėjimus per nustatytą laiką ar keičiantis nuotoliams. Tiesioginis bandymo stendo jungimas prie matavimo objekto yra taip pat galimas naudojant RF I/O jungtį ir pasirinkus tam tikrą bandymą 2-ojo lygio automatinio režimo metu.

2-ojo lygio automatinio bandymo procedūros yra identiškos 1-ojo lygio procedūroms, išskyrus ERP ir MTL matavimus. LOBING ANT ir DIST indikacinės zonos ekranėlyje nėra naudojamos 2-ojo lygio bandymo metu. Nustatymo duomenys yra pasirenkami antrajame meniu.

```

** 2nd LINE AUTO TEST - PASSED **
MODE TESTED-C,S,1,2,3,4   FRQ:1090.00 MHz
MODE PASSED-C,S,1,2,3,4   ERP: 55 dBm
MODE FAILED-              MTL: -75 dBm
DIVERSITY: NOT RUN        LOBING: NOT RUN
                          Press RUN TO start
```

7 pav. IFF-701Ti andymų stendo 2-ojo lygio automatinio bandymo galimi rezultatai (AEROFLEX 2004)

Dviejų bandymų rezultatai gali būti įrašomi aparato nepastovioje atmintyje ir paskutinio bandymo rezultatai yra išsaugojami pagrindinėje atmintyje. Bandymo rezultatai gali būti įkraunami į kompiuterį ar atspausdinami.

1-ojo ir 2-ojo lygio automatiniai bandymai yra labai panašūs, tačiau skiriasi tuo, jog matavimų objektas yra stacionarios būsenos, kai yra vykdomas 1-ojo lygio matavimas ir objektas yra skrendančiame orlaivyje, kai vykdomas 2-ojo lygio matavimai. Šiame baigiamajame darbe bus siekiama išanalizuoti

stacionariai laikomą objektą visais suteikiamais matavimo metodais 1-ojo lygio režimu ir išmatuoti pagrindinius atsakiklio parametrus 2-ojo lygio bandymo metu.

3.3. Tyrimų stendo valdymo panelė

IFF 701Ti bandymų stende yra naudojami trys nustatymo meniu:

- 1) programos parametrai, skirti galios ir jautrumo matavimams;
- 2) badymo nustatymo tam tikriems režimams meniu;
- 3) bandymų duomenų išsaugojimo ir apžiūros meniu.

```
      ** SETUP#1 MENU **
UUT ANTENNA: RANGE HEIGHT  PWR UP=1ST/L
      TOP:      20      15
      BOTTOM:    20      3
      SELECTED: BOTTOM
GAIN_1030=11.5 GAIN_1090=12.0 LOSS=1.0
```

```
      ** SETUP#2 MENU **
STORED CODE:LOADED      ERP UNITS= WATTS
STORE= 0 RECALL= 1      DIVERSITY= ON
CONFIG= MK12/M_S  XPDR MODES:C,S,1,2,3,4
CODE SOURCE= STORED A(VB)  INTERR= BURST
Change store/recall field then press RUN
```

8 pav. IFF-701Ti bandymų stendo #1 ir #2 meniu (AEROFLEX 2004)

3.4. Tyrimų stendo specifikacija

Techninė įrangos specifikacija:

BATERIJA-

Trukmė: ≥ 1.5 val. (prieš pakraunant, kai 25°C);

Automatinis išsijungimas: po 15 min., kai nėra naudojama;

AC SROVĖS REIKALAVIMAI-

Voltažas ir dažnis: nuo 100 iki 120 VAC, 60 Hz / nuo 220 iki 240 VAC, 50 Hz;

Minimalus galios išnaudojimas: 47 W;

Maitinimo fluktuacijos: $\leq 10\%$ nuo nominalaus voltažo reikšmės;

APLINKOS VEIKSNIAI-

Naudojimo temperatūra:	nuo -20°C iki 50°C ;
Drėgmė:	nuo $\leq 80\%$ esant 31°C , mažėjant tiesiškai, iki 50% esant 40°C ;
Naudojimas:	Užterštumo lygis 2
Aukštis:	$\leq 13,124$ pėdų (4000 metrų);

DIMENSIJOS- 28,4 cm – plotis, 36,1 cm – ilgis, 27,9 cm – aukštis, neskaitant skyriklio;

SVORIS- 15,5 kg (34 lbs); 20,0 kg (42 lbs) įskaitant skyriklį.

Atsakiklio režimu veikiančio bandymų stendo specifikacija:

SIGNALO GENERATORIUS

IŠĖJIMO DAŽNIS - 1030 MHz ($\pm 0,01$ MHz);

RADIJO DAŽNIO IŠĖJIMO LYGIS (P_1) –

PASTABA: Radijo dažnio išėjimo lygis yra automatiškai valdomas nustatant imtuvo jautrumą (MTL) pasirinktam nuotoliui ir jis paprastai yra 4 dB aukštesnis nei MTL lygis skirtas įterpties bandymams.

Antenos jungtis:	nuo -3,6 iki 53,6 dBm esant 0,1 dB žingsniui;
	$\pm 2,5$ dB (nuo -3,6 iki -42,6 dBm);
	$\pm 3,5$ dB (nuo -43,1 iki 53,6 dBm);
Tiesioginis I/O:	nuo -50,85 iki -100,85 dBm esant 0,5 dB žingsniui;
	$\pm 1,0$ dB (nuo -50,85 iki -89,85 dBm);
	$\pm 2,0$ dB (nuo -90,35 iki -100,85 dBm);

ANTENA-

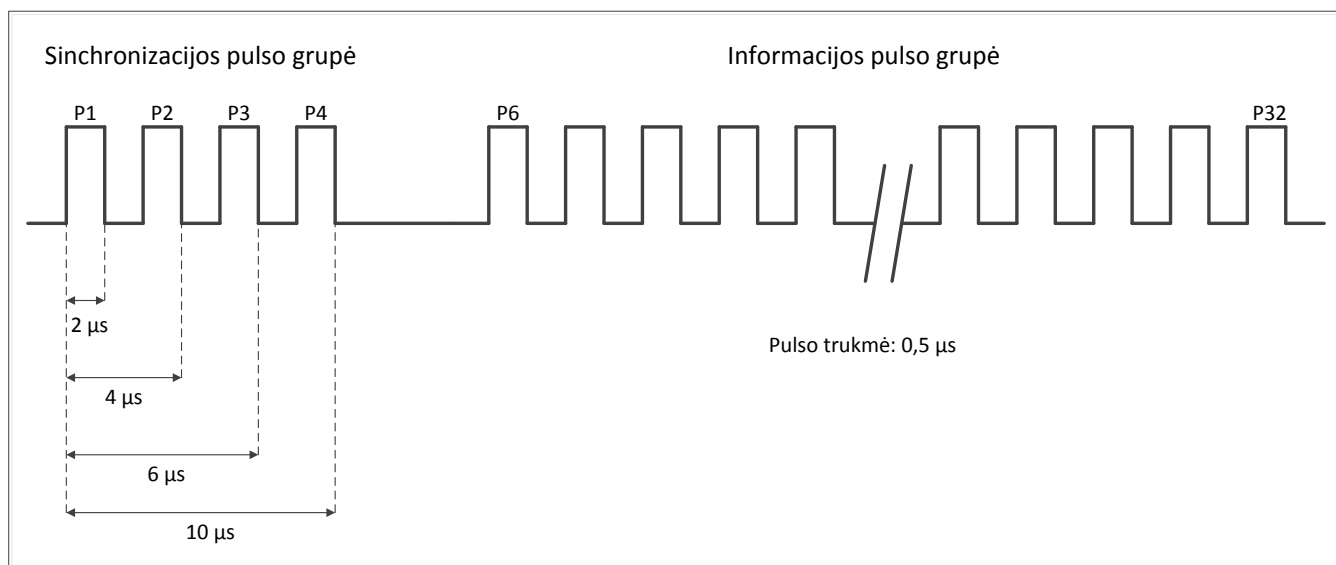
VSWR: $<1,5:1$;

Veikimo riba (nurodyta ant antenos): 10 dB paprastai;

Nuotolis: nuo 6 pėdų (1,83 metrai) iki 250 pėdų (76,2 metrai).

3.5. Tyrimų stendo signalų formavimas

9 paveiksle parodyta IFF-701Ti bandymų stendo signalų formavimo būdas. Atliekant laiko keitimo bandymus, t.y. bandymus, kai siunčiamas uždelstas signalas, arba siunčiamas signalas sudaromas pagal tam tikrą režimą P_1 , P_2 , P_3 ir P_4 , impulsų periodas gali skirtis. 8 paveikslėlyje pavaizduotas MK12 4 režimo įterpties signalų formavimo pavyzdys. Ketvirto režimo bandymo atveju sinchronizuojančių impulsų grupė yra sudaryta iš 5 impulsų, kurių kiekvieno periodas tęsiasi $2\ \mu\text{s}$. C režimo metu (angl. Mode C), kuriuo veikia įprastiniai atsakikliai laiko intervalas tarp P_1 ir P_3 yra $21\ \mu\text{s}$.



9 pav. IFF-701Ti bandymų stendo signal formavimas (AEROFLEX 2004)

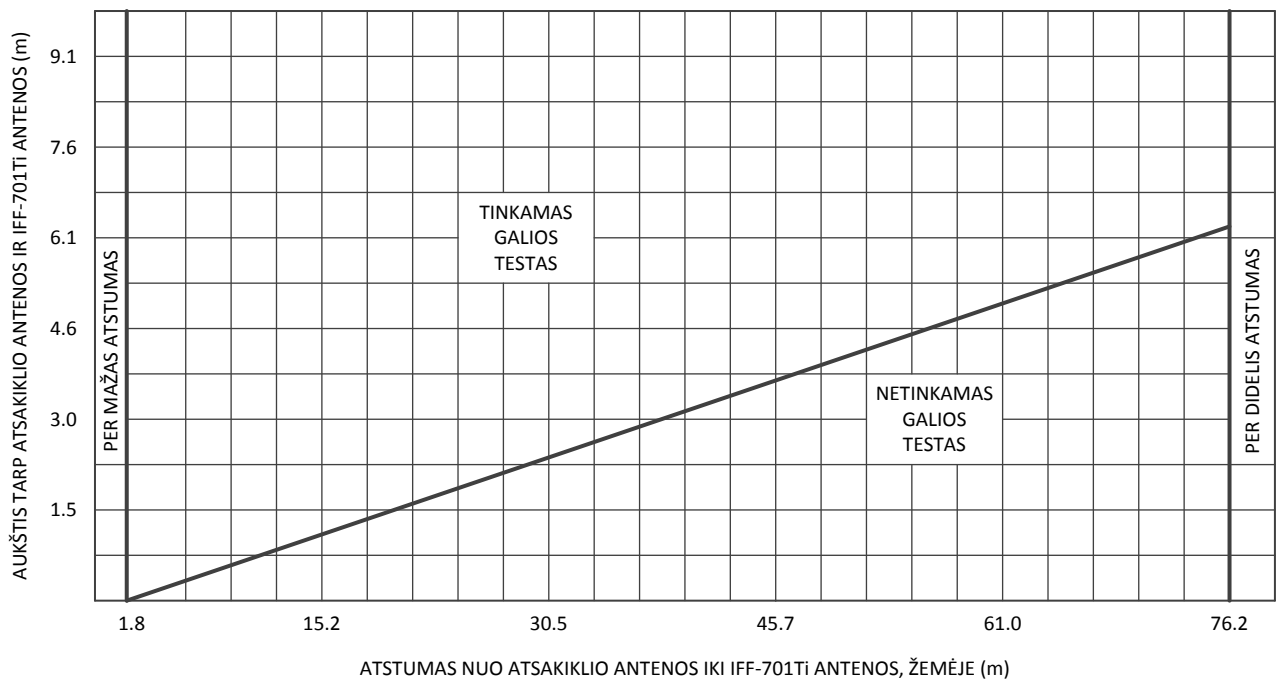
4. BANDYMŲ PASIRINKIMAS, ANALIZĖ IR METODIKA

Iš IFF-701Ti operacijų vadovo buvo išrinkti bandymai, kuriais bus tikrinami atsakiklio duomenys, veikimas, bei signalo specifika. Pagal numatomus atsakiklio C ir S režimus parinkti bandymai pagal operacijų vadovo bandymų stendo procedūras. Bandymų esmė yra patikrinti atsakiklio veikimo parametrus, atsakymų žinučių kokybę bei signalo duomenis geromis ir blogomis oro sąlygomis. Taip pat apledėjimo sąlygomis ir specialiai sutrikdant signalą aliuminio juostele. Bandymai parenkami atsakiklio veikimui antžeminiu režimu, tačiau esant galimybei atsakiklis turėtų būti tikrinamas ir ore. Bandymų metu taip pat bus siekiama gauti atsispindėjusių signalų parodymus nuo šalia esančių pastatų.

Bandymai yra atliekami atsižvelgiant į operacijų vadovo rekomendacijas individualiam bandymui. Kiekvieno matavimo metu yra nurodomi atstumai tarp tiriamojo objekto, atsakiklio ir IFF-701Ti antžeminės, rankinės matavimų antenos. Vykiant vieną po kito bandymų/matavimų atlikimo procedūras

yra gaunami norimi rezultatai. Siekiant juos įvykdyti korektiškai ir tiksliai būtinas pasirengimas prieš bandymus. Todėl šiame skyriuje nurodomos pagrindinės procedūros kaip bandymai turėtų būti atliekami, kokie parametrai turėtų būti matuojami ir teorinė analizė kas būtų matuojama.

Pagal 10 paveikslą yra pasirenkami tikslingi atstumai tam tikriems bandymams atlikti. Taip pat paveikslas nurodo tinkamus ir netinkamus matavimo atstumus norimiems duomenims gauti. Didžiausią įtaką daro horizontalusis nuotolis žemės atžvilgiu nuo IFF-701Ti antenos iki matavimo objekto, atsakiklio antenos vertikalusis aukštis nuo IFF-701Ti bandymų stendo rankinės antenos iki atsakiklio antenos, kuri dažnai sumontuota ant orlaivio viršutinės dalies. Kadangi tyrimų objektas yra numatomas bendrosios aviacijos orlaiviuose, jų aukštis – atsakiklio antenos įmontavimo vieta, nesiekianti 3 metrų virš žemės.



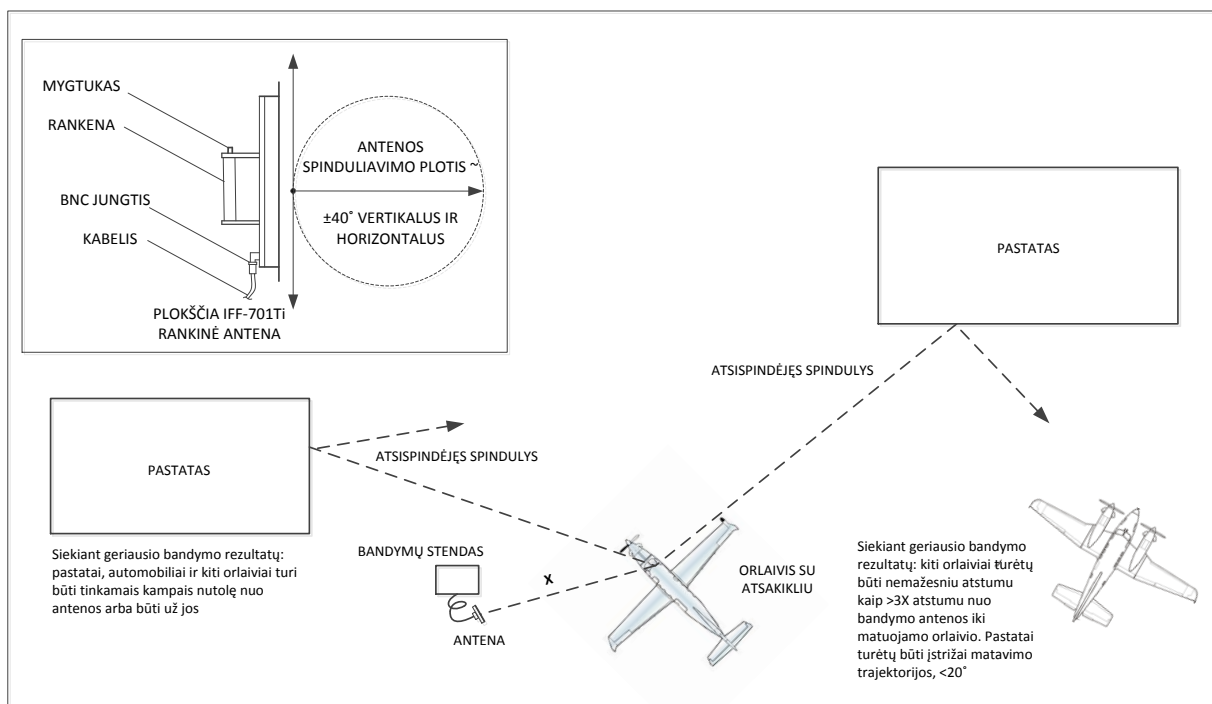
10 pav. IFF-701Ti bandymų stendo ir matavimo objekto bandymo nustatymo atstumų pasirinkimo grafikas

Viena svarbiausių bandymo dalių, siekiant gauti tinkamus rezultatus, yra bandymų stendo rankinės antenos pozicionavimas bandymo metu. Kadangi dažnai orlaivių stovėjimo aikštelėse stovi ne vienas orlaivis gauti tinkamus duomenis, išvengiant atspindžių nuo šalia esančių kitų orlaivių, yra sudėtinga. Pagrindinė taisyklė atliekant bandymus su IFF-701Ti bandymų stendu yra laikytis taisyklių nurodytų operacijų vadove. Atstumas tarp šalia esančių pastatų ir orlaivių turi būti tris kartus didesnis nei atstumas pasirinktas tam tikram bandymui, esantis tarp bandymų stendo rankinės antenos ir tyrimo objekto. Šio tyrimo atveju objekto matavimai buvo atlikti bendrosios aviacijos oro uoste, kuriame orlaivių stovėjimo atstumus galima koreguoti esant poreikiui. Šalia esančių angarų dydis gali turėti įtakos rezultatams, jei nėra atsižvelgiama į reikalaujamus nuotolius.

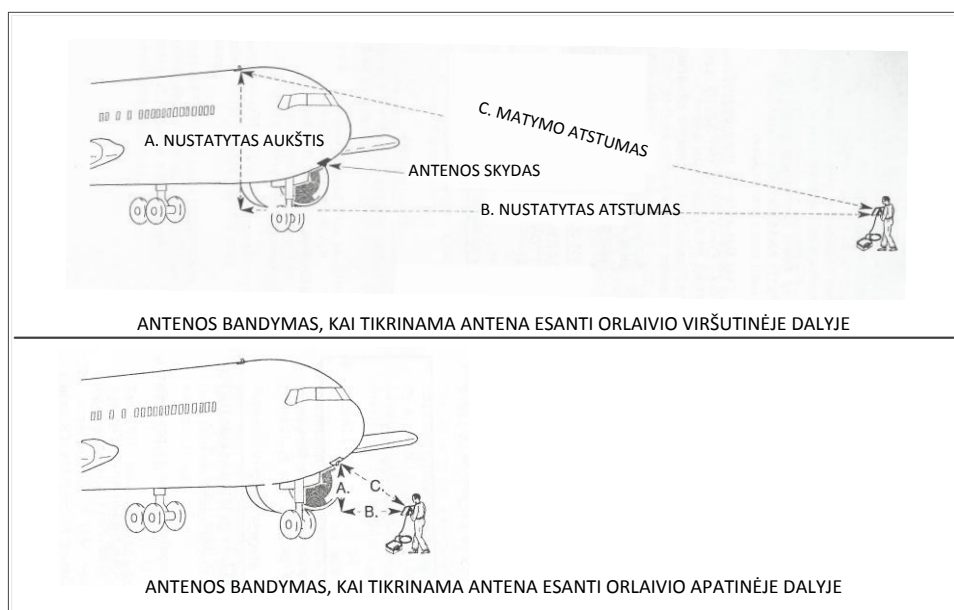
Į bandymų stendo komplektą įeina rankinė bandymų stendo antena. Antenos komplektą sudaro: papildoma laidų jungtis DC srovės jungimui prie aparato (S/N 7007-3582-800), du vienetai 1,6 A

saugiklių (S/N 5106-0000-062), Coax kabelis 223 M-M BNC (S/N 6057-2069-600), plokščioji antena (S/N 7005-3540-800), CRYPTO kabelis (Kit/Kir) (S/N 6046-3581-800) ir BNC-TNC adapteris (S/N 2200-0410-700).

Ijungus anteną prie bandymų stendo draudžiama transliuoti signalus tiesiogiai į antenos terminalą (J10057). Maksimali oro perdavimo galios vertė negali viršyti 0.5 W, kitu atveju antena bus pažeista. Ši jungtis yra skirta tik nuotoliniams bandymams. Jungties dangtis, kai yra prijungtas, suteikia 50 Ω apkrovą, reikalingą kai jungiamas RF I/O jungtimi tiesiogiai prie bandymų objekto ar „SELF TEST“ metu. Antenos mygtukas sustabdo bandymo transliaciją iš antenos ir veikia taip pat kaip bandymų stendo „RUN/STOP“ mygtukas. BNC jungtis skirta prijungti plokščiąją anteną prie IFF-701Ti bandymų stendo.



11 pav. Bandymų atlikimo metodika ir rekomendacijos vertinant atstumus tarp bandymo objektų

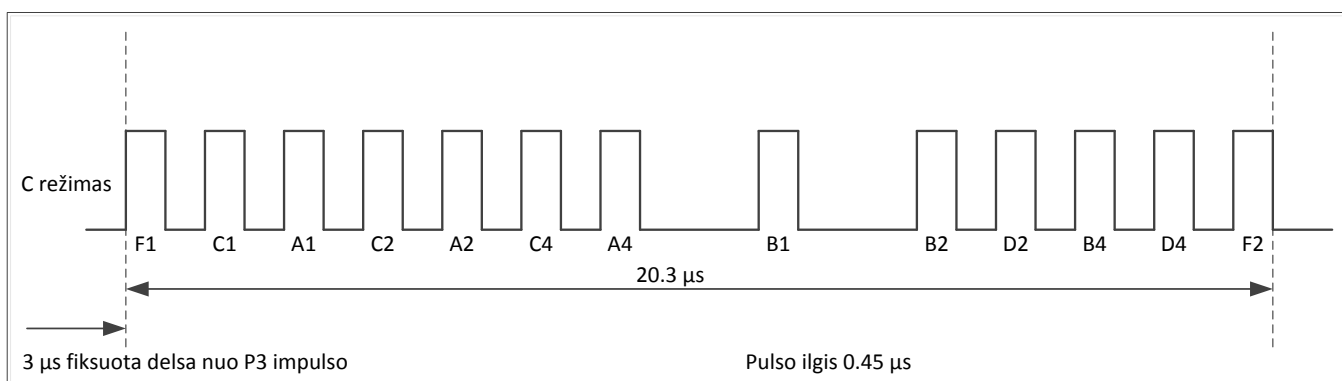


12 pav. Bandymų atlikimo metodika priklausomai nuo antenos pozicijos orlaivyje

4.1. Atsakiklio atsakymo delsos bandymas

Oro eisimo valdymo radarų sistemos gyvybingą veikimą, kaip ir ateities ADS-B signalų tikslingą veikimą apibūdina orlaivio atsakymai į užduotas antžemines užklausas. Šio bandymo metu IFF-701Ti bandymų stendas suformuluoja užklausą bandymų objektui. ATCRBS atsakymas tikrina:

- Laiko delną tarp F_1 ir F_2 impulsų, C režimo metu – nominalus laikas 20,3 μs ($\pm 0,1 \mu\text{s}$);
- F_1/F_2 pulsų plotį – nominalus 0,45 μs ($\pm 0,1 \mu\text{s}$).



13 pav. Atsakiklio perdavimo formatas C režimu

IFF-701Ti nurodo F_1 ir F_2 tarpą, F_1 pločio ir F_2 pločio vertes ekrane. Taip pat bandymų stendas nurodo 3/A identifikacijos kodą ir C režimo aukštį. Jei specialiojo pozicijos identifikacijos pulsas (SPI) yra galimas, IFF-701Ti nurodo kodą po A režimo kodu.

Jei yra gaunamas blogas signalas (nėra C bito ar C_1 ir C_2 yra gaunami ne tuo pačiu metu) stendas nenurodo aukščio duomenų - ALT laukelis ekrane.

```

** ATCRBS REPLY TEST - NO REPLY **
F1 TO F2 SPACING  A:          C:
F1 PULSE WIDTH   A:          C:
F2 PULSE WIDTH   A:          C:
CODE=             ALT=      [  ]
                  Press RUN to start

```

```

** ATCRBS REPLY TEST - PASSED **
F1 TO F2 SPACING  A:20.30 μS  C:20.30 μS
F1 PULSE WIDTH   A: 0.45 μS  C: 0.45 μS
F2 PULSE WIDTH   A: 0.45 μS  C: 0.45 μS
CODE=4563ID  ALT= 10,700 FT  [6140]
                  Press RUN to start

```

```

** ATCRBS REPLY TEST - FAILED **
F1 TO F2 SPACING  A:22.00 μS  C:20.30 μS
F1 PULSE WIDTH   A: 0.45 μS  C: 0.45 μS
F2 PULSE WIDTH   A: 0.45 μS  C: 0.45 μS
CODE=7700EM  ALT= 10,700 FT  [6140]
                  Press RUN to start

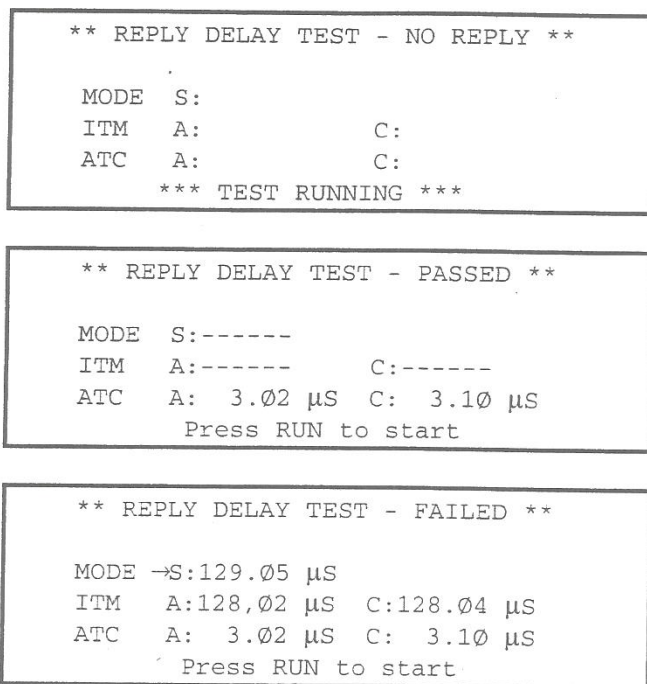
```

14 pav. Atsakiklio atsakymo delsos bandymo galimų rezultatų duomenys(AEROFLEX 2004)

Antroji bandymo dalis susideda iš bendro atsakiklio atsakymo delsos bandymo. IFF-701Ti aparatas siunčia užklausa bandymų objektui 3/A, C, S ir ATCRBS/Mode S, ALL CALL bei ITM režimais.

Atsakymo delsos bandymas nurodo atsakymo delsa atėmus matavimo atstumą:

- 128 μs ($\pm 0,25 \mu\text{s}$) S režimu;
- 128 μs ($\pm 0,5 \mu\text{s}$) ITM (angl. Intermode) režimu. Jis skirtas tarpusavio orlaivių duomenų apsikeitimui (ADS-B In signalas);
- 3 μs ($\pm 0,5 \mu\text{s}$) ATC režimu.



15 pav. Atsakiklio atsakymo delsos bandymo galimų rezultatų duomenys, antroji bandymo dalis (AEROFLEX 2004)

1-ojo lygio režimo atsakymo delsos bandymo metu, atstumai tarp matavimo objekto ir plokščiosios antenos gali kisti nuo 1,8 metrų iki 76,2 metrų (kaip nurodyta 10 pav.). Matavimo rezultatų paklaida atsižvelgiant į atstumą gali būti iki 507,5 ns. Ši paklaida yra tinkama norimiems rezultatams gauti. IFF-701Ti teikia 1 μs (SIF ir S režimo) ar 2 μs (4 režimo) toleranciją atsakymo delsai pagal konfigūracijos failą. Atsakymai gauti tolerancijos ribose yra laikomi teisingi kai identifikaciniame bandymų stendo ekrane nurodoma kaip PASSED ir atsakymai gauti ne tolerancijos ribose, ekrane rodomi kaip netinkami FAILED.

2-ojo lygio režimo atsakymų delsos bandymų metu atstumo paklaidos gali būti iki 6,67 ns/m, apskaičiuojamos duomenų 1# meniu. Atsakymų delsos bandymų rezultatai/laikai yra nurodomi bandymų stendo ekrane.

4.2. Atsakiklio S režimo bandymas

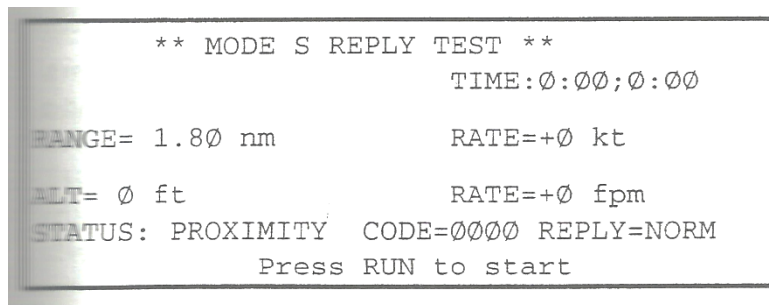
S režimo tikslas:

S režimas sujungia antrinį monitoringo radarą su žemė-oras-žemė duomenų sistema, taip orlaiviui tiekiamą informaciją apie oro eismo kontrolę (netoliese esančius orlaivius). S režimo metu suteikiama galimybė užmegzti ir tiesiogiai palaikyti ryšį su oro eismo kontrolės švyturiu. Kartu su automatinėmis oro sekimo sistemomis. S režimas suteikia patikimą komunikaciją būtina duomenų perdavimui.

S režimo žinutės turinys:

Visos diskretinės S režimo užklauskos (56 bitų ar 112 bitų) ir atsakymai (neįskaitant „ALL CALL“ atsakymo) sudaryti iš 24 bitų diskretaus adreso S režimu veikiančiame atsakiklyje. Taip pat šiuose 24-iose bituose nurodytas ir pariteto bitas, nustatantis žinutės klaidas. „ALL CALL“ režimo metu pariteto patikrinimo bitai yra perdengti su adreso bitais S režimo užklausoje. Atsakymo tekste nurodomas diskretus atsakiklio adresas.

Pirminė S režimo funkcija yra stebėjimas. S režimo atsakiklyje tokia funkcija įvykdoma naudojant trumpus (56 bitų) perdavimus į abi puses. Šiose transliacijose orlaivis praneša apie savo aukštį (DF4) ar ATCRBS 4096 kodą, taip pat skrydžio statusą ore (angl. *airborne*) ir ant žemės (angl. *on the ground*), pavojus (angl. *alert*), pozicijos indikaciją (angl. *Special position identification, SPI*) ir t.t.).



16 pav. Atsakiklio S režimo bandymo ekrano pavyzdys (AEROFLEX 2004)

Duomenų ryšio komunikacijos:

Diskretus kreipimasis ir skaitmeninis šifravimas leidžia S režimo atsakikliams naudoti skaitmenines duomenų sąsajas. Užklauskų ir atsakymų formatai yra sudaryti iš pakankamo kiekio kodavimui skirtos vietos perdavimo duomenų skiltyje. Dauguma S režimo duomenų perdavimo žinučių yra sudarytos iš 56 bitų žinutės, kuri yra 112 bitų, kreipinio ir atsakymo dalies. Signalas sudaromas iš žinutės kartu su stebėjimo duomenimis, kurie dažniausiai naudojami kaip stebėjimo užklauskos ar/ir atsakymai (AEROFLEX 2004).

Ilgesnių pranešimų efektyvus perdavimas yra pasiekiamas padidinto ilgumo žinučių (angl. *Extended Length Messages*) galimybe. Žinutės kitaip dar vadinamos (UF24 ir DF23) (AEROFLEX 2004).

Naudojant šią galimybę siunčiame informacijos seką, kuri gali siekti 16 kartų po 80 bitų žinutės segmentų (ar 112 bitų žinutės segmentų), perduoti informacijai žemė-oras ar oras-žemė. Šioje sekoje gali būti tik vienas atsakymas/užklausa. ELM būdu nėra siunčiami aplinkos stebėjimo duomenys, todėl ši galimybė nėra pakeičiama klausos-atsakymo ciklu.

4.3. Atsakiklio galios bandymas

Atsakiklio galios bandymas tiksliai nustato atsakiklio efektyvios spinduliuojamosios galios ERP ir minimalaus sužadavimo lygio MTL vertę, nepriklausomai ar bandymų stendas tiesiogiai ar nuotolinių būdų prijungtas prie tiriamojo objekto. Dvi vertės yra matuojamos ir nurodomos informaciniame bandymų stende. Vidutinės galios nuskaitymo metu nurodomos momentinės vertės, kurios gaunamos iš 100 užklausų siunčiamų tiriamajam prietaisui. Ši vertė yra atnaujinama kas 100 užklausų. Didžiausios vidutinės vertės (TOP AVG) ir mažiausios vidutinės vertės (BOT AVG) yra gaunamos iš vidutinių verčių matavimų visų gautų atsakymų metu per visą atsakiklio galios bandymą (AEROFLEX 2004).

Galios bandymas nurodo ar atsakiklio ERP ir MTL vertės yra ribose, nurodytose konfigūracijos 2# meniu „CONFIG“ laukelyje. Aparatūroje numatytosios ribos galios bandymui yra:

UUT ERP = 57.0 dBm (± 3.0 dB);

UUT MTL = -76.0 dBm (± 2.0 dB);

UUT Nuostoliai (“Feeder Loss”) = 4 dB

PASTABA:

UUT – bandomasis atsakiklis;

Nuostoliai – išskaičiuojami iš ERP ir MTL parametrų;

dBm – santrumpa nurodanti galios vertę decibelais, matuojamoji galia nurodoma atsižvelgiant į milivatus (mW). Pvz.: 57 dBm = 501.187 W; -76 dBm = $2,512 \cdot 10^{-11}$ W.

Decibel-milivatų (dBm) keitimas į vatus (W) formulė:

$$P_{(W)} = \frac{1W \cdot 10^{\frac{P_{(dBm)}}{10}}}{1000} = 10^{\left(\frac{(P_{(dBm)} - 30)}{10}\right)}; \quad (1)$$

$$PVZ.: P_{(W)} = \frac{1W \cdot 10^{\frac{57 \text{ dBm}}{10}}}{1000} = 501,187; \quad (2)$$

Atsižvelgiant į šią formulę 50 dBm = 100 W; 30 dBm = 1 W; 0 dBm = $1 \cdot 10^{-3}$ W ir -30 dBm = $1 \cdot 10^{-5}$ W.

Bandymo procedūra:

Tikrasis nuožulnis atstumas (matymo atstumas) nuo bandymo antenos iki bandymo stendo rankinės antenos vertikalios poslinkio ir horizontalios poslinkio yra nustatomas 1# meniu. Duomenys, nurodyti apie atstumų pasirinkimą, parodyti 10 – 11 paveiksluose. Antrasis bandymo žingsnis yra paspausti PWR TEST mygtuką, kuris įjungia aparatą. Vėliau nustatomas parametras – matuojama apatinė ar viršutinė antena. Prijungus plokščiąją anteną prie bandymo stendo galima pradėti matuoti.

Tikslūs šio bandymo duomenys yra gaunami pasirinkus 1# meniu parametrus pagal 10 pav. grafiką. Jei norima gauti dar tikslesnius duomenis, siekiant sumuoti neatitikimus, sukeltus atspindėjusių spindulių, rekomenduojama judinti plokščiąją anteną nuo žemės lygio į viršų, iki 1.8 m. aukščio, 0.3 m/s greičiu. Reikia vengti antenos sukinėjimo judesių, išlaikyti tą patį horizontalų atstumą. Reikia judinti plokščiąją anteną žemiau ir aukščiau užprogramuotojo aukščio 1# meniu, siekiant gauti tikslius galios vidurkius. Baigus matavimus reikia paspausti RUN.STOP mygtuką ar ant antenos esantį mygtuką (detalesnė bandymo eiga nurodyta (AEROFLEX 2004) operacijų vadove, 1-2-6 skyriuje, 44-46 p.)

** POWER TEST **			
	ERP (WATTS)	MTL (dBm)	STATUS
■ TOP AVG =	156	-73.4	PASSED
BOT AVG =	135	-74.3	PASSED
INSTANT =	146	-73.4	
Press RUN to start			

** POWER TEST **			
	ERP (dBm)	MTL (dBm)	STATUS
TOP AVG =	53.0	-73.4	PASSED
■ BOT AVG =	-47.8	-75.0	FAILED
INSTANT =	47.8	-75.0	
Press RUN to start			

17 pav. Atsakiklio galios bandymo pavyzdys (AEROFLEX 2004)

4.4. Galios ir dažnio bandymas

Bandymų stendas tiksliai matuoja efektyviąją spinduliavimo galią (ERP) ir siunčiamo dažnio vertę TCAS sistemos užklausoje.

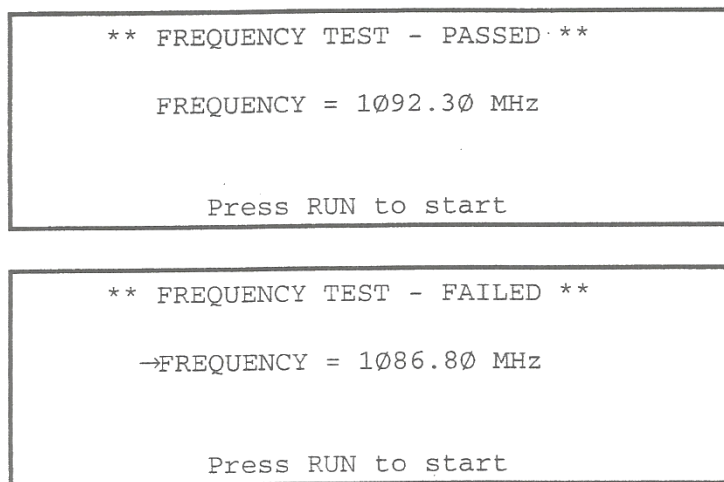
Kai įterpimo metodu S režimu IFF-701Ti aparatas nusiunčia užklausą į bandymo objektą yra gaunami galios ir dažnio duomenys ekrane. Bandymų stendas siunčia trumpus impulsus pradedant adresais REPLAY ADDR lauke (TCAS meniu 1# ekranas) ir naudoja iki 512 skirtingų adresų. Duomenys yra skaičiuojami nuo kiekvienos išsiųstos užklausos atsakymo ir yra parodomi POWER & FREQUENCY ekrane.

Įterpimo tipas yra panašus į ATCRBS, IFF-701Ti naudoja P_1 ar ATCRBS užklausą tarp režimų, skaičiuojant TCAS galią ir dažnį, atsakiklio atžvilgiu.

Bandymo metodika yra labai panaši į atsakiklio galios bandymo procedūrą. Tačiau pirminis pasirinkto bandymo nustatymas skiriasi.

4.5. Dažnio bandymas

Dažnio bandymas patikrina ir nurodo tikslų bandymo objekto dažnį, nominaliai 1090 MHz (± 3 MHz). Bandymų stendas nurodo tikslų dažnį ekrane.



18 pav. Dažnio bandymo galimi rezultatai (AEROFLEX 2004)

4.6. Skirtumo izoliacijos bandymas

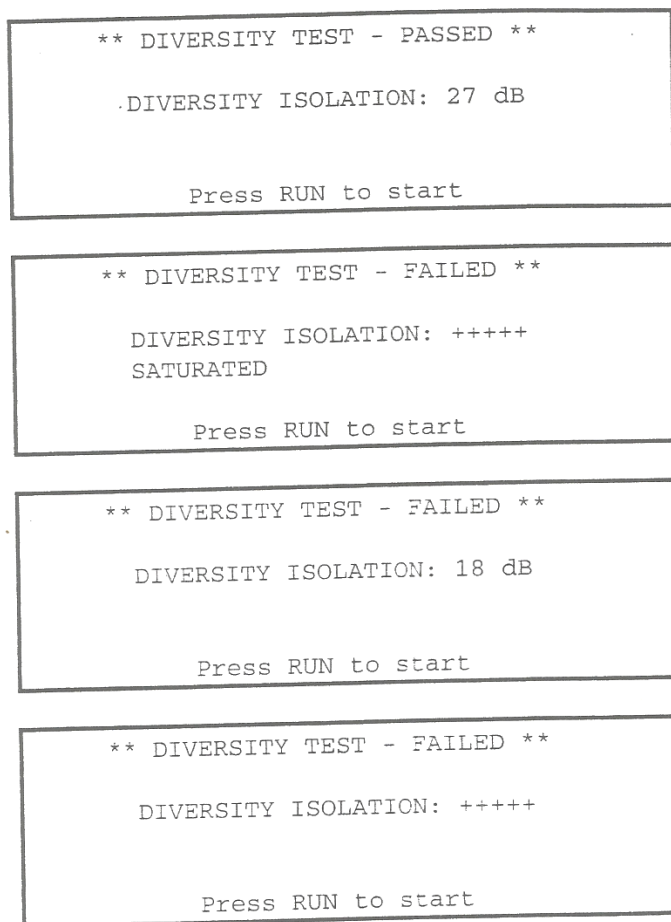
Skirtumo izoliacijos bandymas yra specialus S režimo bandymas kuris nurodo atsakiklio izoliaciją (skirtumą tarp įjungtos antenos nuolatinių informacinių žinučių (angl. *squitters*) ir išjungtos antenos). Paprastai skirtumas būna ≥ 20 dB. IFF-701Ti ekrane skirtumo izoliacija taip pat pateikiama dB. Šis bandymas yra vykdomas tik tada, kai jis nurodomas 2# meniu. Siekiant užtikrinti šio bandymo dinaminį nuotolį ≥ 20 db, šis bandymas turi būti vykdomas 15,24 metrų nuo bandymo objekto antenos.

Norint užtikrinti tikslų skirtumo izoliacijos matavimą būtina atjungti bandymo objekto – atsakiklio anteną jo programavimo būdu, atjungta ją mechaniškai, prijungus 50 Ω apkrovą arba uždėti antenos uždangą, kuri yra IFF-701Ti komplekte.

Siekiant atlikti šį bandymą teisingai atsakikliuose su didesne periodinės žinutes galimybe (DF17), IFF-701Ti V1.34T atsakiklio kodas yra būtinas.

Skirtumo izoliacijos bandymas gali būti naudojamas 2-ojo lygio režimu. 1-ojo lygio režimu aparatas atlieka tik vieno signalo bandymus (angl. *Point and shoot*), kuriems nereikalinga papildoma įranga, kaip antenos skydas. Skirtumo izoliacijos bandymas turi būti baigtas 2-jame režime.

Kai skirtumo bandymas yra aktyvuojamas, pasirinktas konfigūracijos failas, 2# meniu DIVERSITY ON/OFF laukelyje gali būti perrašytas į konfigūracijos failo nustatymus.



19 pav. Skirtumo izoliacijos bandymo pavyzdžiai (AEROFLEX 2004)

4.7. Atsakiklio diagnostiko bandymas

Bandymo tikslas – ištirti komunikacijos tarp bandymo stendo ir objekto pobūdį, išreiškiant jį per komunikacijos signalų kiekį. Atliekant daugelio įterpčių ir atsakymų matavimus reikia nustatyti teisingai priimtų žinučių skaičių.

Bandymo eiga – plokščioji bandymų stendo antena turi būti pastatyta atsižvelgiant į 10 paveiksle nurodytus duomenis. Matuoti rekomenduojama iš įvairių kampų, jei antena yra pažeista kurioje nors dalyje, galimi horizontaliosios signalo poliarizacijos pakitimai, dėl kurių signalo kokybė, kiekio išraiška, suprastėja.

Šis bandymas turi būti atliekamas 2-ojo lygio režimu, naudojant DIAGNOSTICS bandymo parinktį, tikrinančią antenos signalų kiekį sudėtį. Skiltyje SIGNAL TYPE nurodomas įterpties tikrinimo signalo pobūdis. Skiltyje ADDRESS nurodomas matuojamojo objekto (atsakiklio) vienetinis identifikacinis kodas. Skiltyje DATA nurodomi impulsų informacijos signalo skaitmenys, kurie yra siunčiami atsakikliui. Šis kodas lemia tiesioginį bandymų objekto atsakymą, be numatyto delsos laiko, lyginant su C

ar S tipo atsakymais. Bandymo metu tyrimų stendas atsakikliui siunčia įterpties žinutę be delsos laiko 256 įterpties sekundės greičiu, išlaukiant pusę sekundės atsakiklio atsakymui.

Bandymas tiksliai nurodo dėl atspindžių ar kitų signalą slopinančių veiksnių, nepriklausomų nuo įrangos paklaidų, sistemos signalo kokybės vertę.

4.8. Bendra bandymų apžvalga

Norint teisingai įvykdyti suplanuotus bandymus ir visą atsakiklio tyrimą būtina vadovautis IFF-701Ti operacijų vadovu kartu su atsakiklio operacijų vadovu. Tyrimas susidedantis iš keleto bandymų, vykdomas dviem etapais: 1. Matavimai vykdomi žemesniame aukštyje; 2. Matavimai vykdomi didesniame aukštyje, atsižvelgiant į reikalavimus. Taip pat atliekant tyrimą siekiama išaiškinti ir gauti paklaidas, atsirandančias nuo atspindėjusių signalų bandymo atlikimo metu ir antenos paklaidas, esant apledėjimui ar kitiems trikdžiams. Gauti rezultatai bus lyginami su nominaliais atsakiklio gamintojo nurodytais intervalais. Esant galimybei bandymai turėtų būti atliekami ir orlaivio operacijos metu.

5. TYRIMO OBJEKTO – ATSAKIKLIO ANALIZĖ

5.1. Atsakiklio apibūdinimas

Garmin GTX 330 yra avionikos prietaisas montuojamas orlaivio panelėje, tai skirtingumo savybių neturintis S režimo atsakiklis, kai GTX 330D yra tas savybes turintis prietaisas. GTX 330D sistemą sudaro dvi atskiros antenos: viena montuojama orlaivio viršutinėje dalyje, kita – apatinėje. Šių atsakiklių specifikacija atitinka RTCA/DO-181C ir EUROAE ED-73A specifikacijas.

GTX 330 atsakiklis yra radijo siųstuvas/įmtuvas, kuris veikia radarų dažniais. Šis siųstuvas/įmtuvas gali veikti kaip įmtuvas antžeminių radarų ar TCAS užklausų atžvilgiu. Jis veikia 1030 MHz dažniu. Atsakiklis siunčia koduotus atsakymus tam tikra seka antžeminiams radarams 1090 MHz dažniu. GTX 330 yra projektuotas su IDENT galimybe, kuri įgalina specialios pozicijos identifikaciją (SPI), pulso trukmė 18 s.

GTX 330 atpažįsta ir gali atsakyti į ATCRBS A režimo, C režimo ir S režimo ALL-CALL užklausas. A režimo atsakymai sudaryti iš bet kurio vieno 4096 kodo, kuris skiriasi nuo pozicijos ir siunčiamų pulsų kiekio. S režimo metu atsakiklis gali atsakyti ir atpažįsta vieno signalo užklausą, išsiųsta antžeminės stoties (ar IFF-701Ti nešiojamos stotelės) ar kito orlaivio (Garmin Inc. 2004).

GTX 330 yra 2-o lygio atsakiklis, teikiantis informaciją apie orlaivį. Antžeminės stotys gali komunikuoti su S tipo atsakikliais individualiai naudojant 24-bitų ICAO Mode S adresus, kurie yra unikalūs kiekvienam orlaiviui. Taip pat antžeminės stotys gali siųsti užklausas GTX 330 įrenginiui siekiant gauti atsakiklio informaciją, nurodančią orlaivio identifikaciją (angl. *Flight ID*), kuri gali būti registracijos numeris ar kitas šaukinys. GTX 330 turi maksimalaus greičio galimybę, kuri leidžia komunikuoti su kitomis TCAS sistemomis, įmontuotomis šalia esančiuose orlaiviuose ir taip pat komunikuoti su jais ADS-B In signalais.

Papildomai atsakiklis gali rodyti kodą, atsakymo simbolį ir operacijos režimą savo ekrane. Taip pat orlaivio aukštį, temperatūrą ir laiko funkcijas, priklausomai nuo įrangos įmontavimo pobūdžio ir jo programavimo principo. Šis įrenginys taip pat stebi ir orlaivio aukštį, nurodo TIS (eismo informacijos sistema) sistemos patarimus ir laikmatį.

GTX 330 įgalina sudėtinius siųstuvo/įmtuvo ARINC 429 ir RS-232 duomenų sąsajas. Prietaisas koncentruojasi į duomenis gaunamus trimis ARINC 429 įėjimais, RS-232 įėjimo duomenimis ir diskretiniais įėjimais. Taip pat sistema gali siųsti didelio greičio ARINC 429 duomenis į stebėjimo įtaisus ar kitas Garmin aplikacijas.

GTX 330 yra konfigūruojama visais valdymo mygtukais. Ryškiai pažymėti mygtukai, esantys įrenginio priekinėje dalyje, valdo prietaiso pagrindines funkcijas. Paprastai atsakikliai montuojami taip,

kad bendras orlaivio maitinimo jungiklis („Master Switch“) įjungia šį įrenginį automatiškai (Garmin Inc. 2004).



20 pav. Tiriamojo objekto - GARMIN GTX 330 atsakiklio panelės vaizdas

5.2. Atsakiklio TIS operacijos

GTX 330 teikia papildomą informaciją eismo informacinei sistemai (TIS), kuri yra viena iš ADS-B sudedamųjų dalių. TIS yra antžeminė sistema, kuri teikia vietos nustatymo paslaugas orlaiviui apie šalia esančius orlaivius, kuriuose įmontuoti ATCRBS A tipo ir C tipo atsakikliai. Informacija yra teikiama tam tikroje erdvėje. TIS antžeminiai sensoriai naudoja tikrojo laiko sekimo raportus siekiant informuoti apie eismo pasikeitimus. TIS sistema suteikia nuorodas į atsakiklio įrenginį jei orlaivyje nėra sumontuotos papildomos eismo informavimo sistemos (TCAS).

Eismo informavimo sistema galima S režimą turinčiuose atsakikliuose, o tai reiškia, kad tokio atsakiklio neturintys orlaiviai gali matyti orlaivius su S režimą įgyvendinančiais įrenginiais, tačiau jų pačių matyti negali.

Stebėjimo duomenys įtraukia visus atsakiklius turinčius orlaivius apdengtoje zonoje. Orlaiviai be veikiančių atsakiklių yra nematomi TIS sistemos. TIS sistema nurodo eismą 7 jūrmylių atstumu žemesniame nei 3000 pėdų aukštyje. Pilotai gali matyti kitų orlaivių vietą, kryptį ir aukštį, kaip ir kiti orlaiviai gali matyti jį (Garmin Inc. 2004).

Kita borto įranga gali transliuoti panašaus dažnio diapazone, kaip ir atsakiklis. Tokios sistemos gali būti DME ar kiti atsakikliai. GTX 330 turi papildomą saugumo sistemą – tai tarpusavio slopinimo pulsas, kuris yra sinchronizuotas pulsas, siunčiamas kitai borto įrangos signalams slopinti, taip suteikiant pirmenybę atsakikliui išsiųsti reikiamą informaciją ir išvengti informacijos iškraipymų. Atsakiklio slopinimas gali būti įvykdomas papildomo šaltinio pagalba ar kitos tam skirtos įrangos pagalba, kaip pavyzdžiui, kito atsakiklio. Ši sistema suprojektuota tam, kad nekiltų didelių iškraipymų išsiuntimo metu (Garmin Inc. 2004).

5.3. Atsakiklio GTX 330 specifikacija

2 lentelė. GTX 330 atsakiklio specifikacijos lentelė

Specifikacija	Charakteristika
TSO, JTSO; GTX 330	TSO-C112, JTSO-2C112a
TSO, JTSO; GTX 330D	TSO-C112, JTSO-2C112a
FCC autorizacija	Atitinkantis emisiją 12M01D
Taikomi dokumentai	RTCA DO-160D, DO-181C, EuroCAE ED-73A
Įrenginio programinė įranga	RTCA DO-178B lygis D
Temperatūrų intervalai	-45 °C - +70 °C (nuolatinis veikimas)
Galios reikalavimai	11 – 33 VDC; galios sąnaudos 22 W nominaliai, 45 W maksimaliai
Drėgmė	95%, esant +50 °C 6 valandoms; 85% esant +38 °C 16 valandų; bandymų kategorija A – DO-160D
Aukštis	55 000 pėdų
Siųstuvo dažnis	1090 MHz ±1 MHz
Siųstuvo galia	125 W minimali, 250 W nominali
Imtuvo dažnis	1030 MHz
Imtuvo jautrumas	-74 dBm nominali esant 90% atsakymų
A režimo galimybės	4096 identifikacijos kodai
C režimo aukščio galimybės	100 pėdų intervalai nuo -1 000 iki 62 700 pėdų
S režimo aukščio galimybės	25 pėdų intervalai nuo -1 000 iki 50 175 pėdų kartu su tinkamų aukščio duomenų perdavimu. 100 pėdų intervalai nuo -1 000 iki 62 700 pėdų
S režimo galimybės	Pasirenkami identifikacijos kodai, orlaivio tipas
Papildomo slopinimo įėjimas	Žemas ≤0,5 V; aukštas ≥8 V
Audio išėjimas	Nuo 4,04 Vrms iki 7,85 vrms į 500 Ω apkrovą
Matmenys	Bazės: aukštis – 42mm, plotis 159 mm, gylis kartu su laidais – 286 mm
Svoris	1,9 kg

5.4. Atsakiklio GTX 330 ekrano indikatoriai

PRESSURE ALT: Nurodo aukščio duomenis GTX 330 atsakikliai pėdomis, šimtais pėdų (skrydžio lygį), taip pat galima pasirinkti indikacija metrais, priklausomai nuo nustatymų.

FLIGHT TIME: Nurodo skrydžio laiką, valdomą START/STOP mygtuku arba vienu iš borto įrangos šaltinių (squat jungtimi, GPS žemės greičio atpažinimu, orlaivio greičio atpažinimu ar aukščio padidėjimu), priklausomai nuo to kaip užprogramuota. Sistema pradeda veikti kai GTX 330 nurodoma, jog orlaivis yra ore.

ALTITUDE MONITOR: Valdomas START/STOP mygtuku. Aktyvuojama balso įspėjimais ir įspėjamąja indikacija, kai aukščio limitas peržengiamas.

OAT/DALT: Nurodo kai GTX 330 yra nustatytas su temperatūros įėjimu. Indikacija nurodo išorės temperatūrą ir slėgį.

COUNT UP TIMER: Valdomas START/STOP mygtuku ir CLR mygtukais.

COUNT DOWN TIMER: Valdomas START/STOP, CLR ir CRSR mygtukais. Laikmatis nustatomas 0–9 skaitiniais mygtukais.

5.5. Atsakiklio GTX 330 veikimas

Atsakiklio GTX 330 sistema teikia žemė-oras sąsają ATCRBS sistemoje, siekiant identifikuoti orlaivį skrydžio metu. Taip pat sistema tiekia oras-oras sąsają dalyvaujant eismo susidūrimo išpėjimo sistemoje (TCAS) skrydžio metu, kartu su kitais orlaiviais turinčiais eismo stebėjimo sistemą (ADS-B).

Signalų užklauskos iš antžeminių stočių, kurios naudoja antrinį radarą, TCAS sistema generuoja atsakymą GTX 330 atsakiklio pagalba. Šie signalai yra apdorojami ir matomi skrydžių valdytojų oro erdvės stebėjimo ekranuose, taip pat šią informaciją gali stebėti ir kiti orlaiviai savo įrangoje, priklausomai nuo atstumų tarp orlaivių ir kitų faktorių. Atsakiklio sistema gauna ir siunčia panašaus pobūdžio skaitmeninę informaciją visiems kitiems ore esantiems orlaiviams.

Pasirinkimo kodai leidžia atsakikliui atsakyti identifikacine informacija naudinga skrydžių valdytojams. Specialūs kodai gali būti pasirenkami siekiant informuoti apie neeilinius įvykius ar pasirinktas operacijas.

Papildomai A režimas leidžia tik orlaivio identifikaciją, C režimas kartu su identifikacija nurodo ir aukščio informaciją, kai jis yra prijungtas prie aukštimačio ir sistemoje pasirinktas režimas aukščio informacijos išsiuntimui (Garmin Inc. 2004).

5.6. Atsakiklio GTX 330 ATCRBS sistemos veikimas

Dvi radarų sistemos yra naudojamos oro erdvės eismo kontrolėje, pirminė ir antrinė. Pirminė – tai paieškos ir aptikimo radaras, antrinė – skirta specialaus pobūdžio sistemoms, į kurias segmentus įeina oro erdvės skrydžių valdymas, užklauskos ir atsakikliai. Antrinės sistemos radarai gali priimti užkoduotą informaciją, kurios pirminis radaras negali. Antriniai radarai tiesiogiai priklauso skrydžių valdytojų kontrolei – ATCRBS (Garmin Inc. 2003).

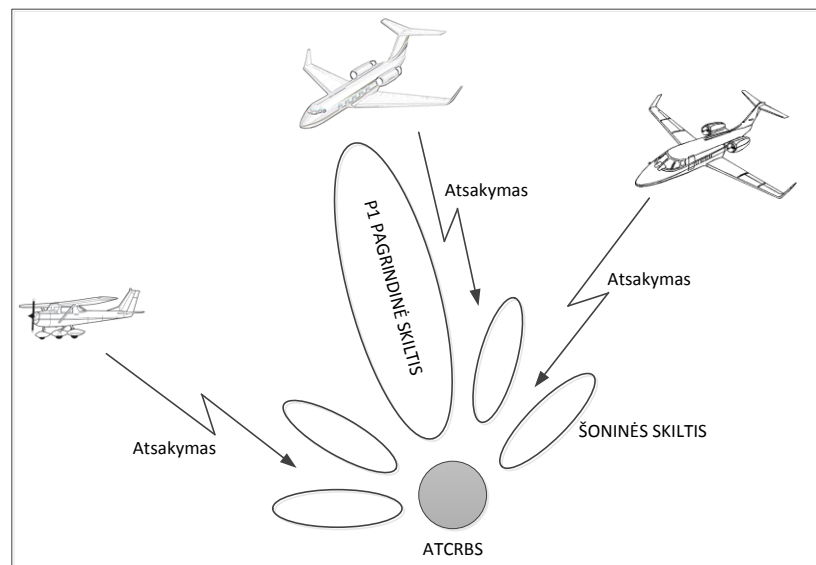
ATCRBS sistema siunčia užklauskas A arba C režimu. A režimo užklausa reikalauja orlaivio atsakyti vienu iš 4096 identifikacijos kodu. C režimo užklausa reikalauja nurodyti orlaivio aukštį. Visi orlaiviai esantys sistemos matymo lauke privalo atsakyti į šias užklauskas (tai daroma automatiškai). Oro eismo kontrolės antžeminių stočių užklauskos tiesiogiai skanuoja oro erdvę kartu su pirminių radarų sistemomis ir siunčia bei priima signalus 1030 MHz dažniu. Užklauskos periodiškai užklausia visų erdvėje/stebėjimo zonoje esančių orlaivių atsakymų. Atsakymai yra rodomi oro eismo kontrolės ekranuose.

Yra penki pagrindiniai užklauskų tipai: A, B, C, D ir S, kurie gali būti transliuojami antžeminių stočių. A, C ir S tipus apibūdina GTX 330 atsakiklis. B ir D tipo režimai yra naudojami radarų stočių

nereglamentuotose pasaulio valstybėse už ES ribų. Kiekvieni užklausų režimai skiriasi vienas kito atžvilgiu ir yra charakterizuojami pagal perduodamos žinutės pulsų savybes.

Panašiai kaip ir antžeminės stotys, siunčiančios užklausas oro erdvėje, borto įranga - TCAS sistema, gali transliuoti užklausų signalus, ieškodama netolimoje oro erdvėje esančių orlaivių ir stebėti jų judėjimą erdvėje. TCAS sistema gali aptikti kitų orlaivių judėjimo kryptį ir aukštį, orlaivių, kuriuose yra sumontuoti atsakikliai.

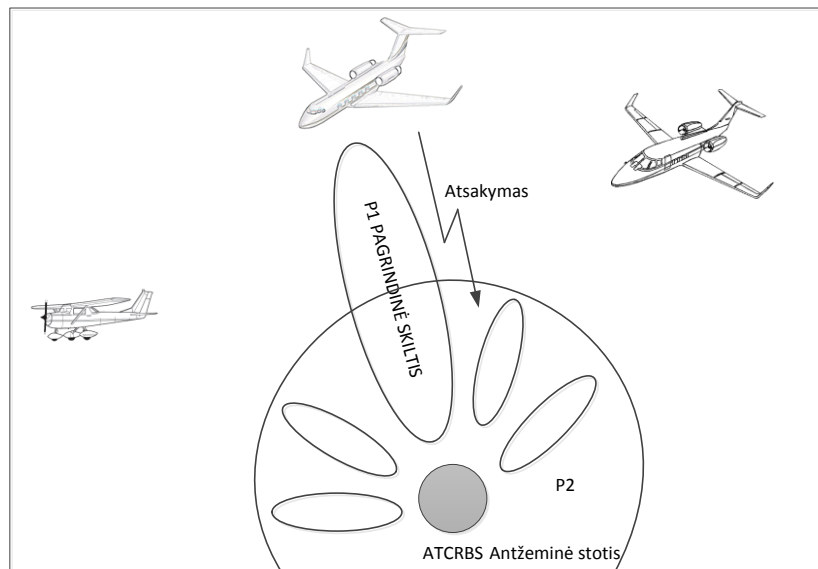
Šoninių skilčių slopinimas yra technika naudojama siekiant išvengti orlaivių atsakymų į užklausą, kai jie nėra tiesioginio matomumo zonoje. Ši problema kyla iš užklausos signalo netolygaus pasiskirstymo kryptinėje antenoje. Šie parazitiniai signalai vadinami šoninėmis skiltimis. Nors antena yra kryptinė, jos veikimo metu dalis energijos išsisklaido, ir šoninių skilčių signalai yra spinduliuojami visomis kryptimis (21 pav.).



21 pav. ATCRBS sistemos veikimas be šoninių skilčių slopinimo galimybės

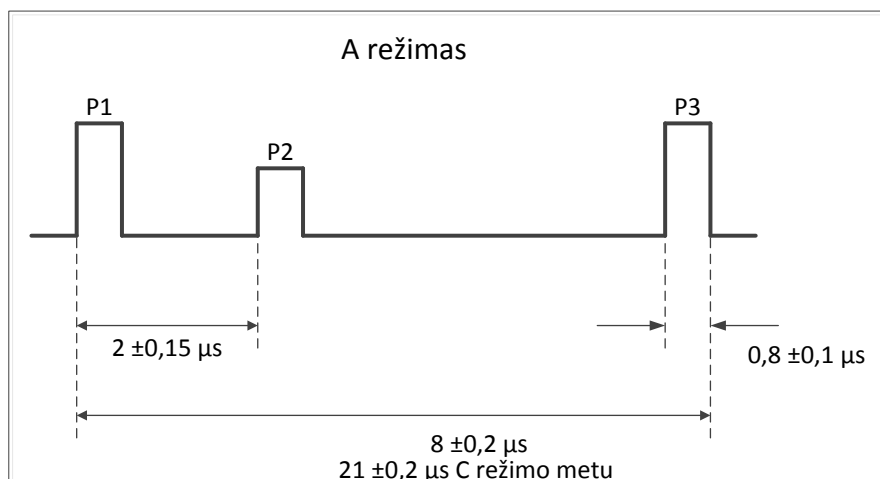
Siekiant ištaisyti šį fenomeną, nekryptinis pulsas P2 yra transliuojamas su tam tikru pavėlavimu iš karto po pirmojo užklausos pulso. Kai orlaivis yra pagrindinio signalo zonoje, antrojo pulso amplitudė yra žymiai mažesnė nei pirmojo pulso, todėl atsakiklis siunčia atsakymą stočiai. Kai orlaivis fiksuoja šoninių skilčių užklausą, antrojo, P2, pulso stiprumas prilygsta ar yra žymiai didesnis už pagrindinės užklausos pulsą, todėl atsakiklis į tokią užklausą nereaguoja. Šis šoninių skilčių slopinimo periodas užtrunka 35 μ s, per šią pauzę atsakiklis nepriima jokių kitų ATCRBS užklausų.

22 paveikslas apibūdina ATCRBS užklauso žinutę su šoninių skilčių slopinimo galimybe. Siunčiamos skilčių amplitudės pažymėtos P1 ir P2 žymėjimais. Vienintelis orlaivis atsako į užklausą, nes jis yra pagrindinio signalo zonoje. Kartu su papildomu šoninių skilčių slopinimo signalu P2 kiti orlaiviai neatsako, kadangi jie yra šoninių skilčių zonoje (Garmin Inc. 2003).



22 pav. ATCRBS sistemos veikimas su šoninių skilčių slopinimo galimybe

ADS-B In signalas ATCRBS sistemoje veikia 1030 MHz dažniu. Šios užklauso transliuojamos antžeminių stočių A režimu (Mode A), užklauso moduluotos dviem 0,8 μ s pulkais atskirtais 8 μ s. C režimo atveju užklauso yra moduluojamos dviem 0,8 μ s pulkais atskirtais 21 μ s laiku (23 paveikslas). ATCRBS signalų moduliacija yra žinoma kaip pulso amplitudės moduliacija (PAM).



23 pav. ATCRBS sistemos užklauso impulsų formavimas A režime

Šoninių skilčių slopinimas (SLS) yra ATCRBS įprasto signalo užklauso ir nekryptinio pulso P2 kombinacija. P2 yra transliuojamas 2 μ s po P1 pulso. Dėl tos priežasties, kai orlaivis yra pagrindinio signalo zonoje, P2 amplitudė yra mažesnė nei P1. Kai orlaivis priima šoninę skiltį, P2 amplitudė yra lygi arba didesnė už P1. Atsakiklis nesiunčia atsakymo kai P2 yra didesnis už P1.

Kiekvienas ATCRBS atsakymas išsiųstas iš atsakiklio yra 1090 MHz dažnio, jis naudoja du pagrindinius formavimo pulsus F1 ir F2, kurie nominaliai atskirti $20,3 \pm 0,1 \mu\text{s}$ laiku vienas nuo kito (12 paveikslas). SPI pulsas yra formuojamas 4,35 μs po F2 pulso ir yra taikomas tik A režime.

3 lentelė. GTX 330 atsakiklio ATCRBS pulso pozicija

Pulsas	Pozicija
C1	F1 + 1,45 μs
A1	F1 + 2,9 μs
C2	F1 + 4,35 μs
A	F1 + 5,8 μs
C4	F1 + 7,25 μs
A4	F1 + 8,7 μs
X (nenaudojama)	F1 + 10,15 μs
B1	F1 + 11,6 μs
D1	F1 + 13,05 μs
B2	F1 + 14,5 μs
D2	F1 + 15,95 μs
B4	F1 + 17,4 μs
D4	F1 + 18,85 μs

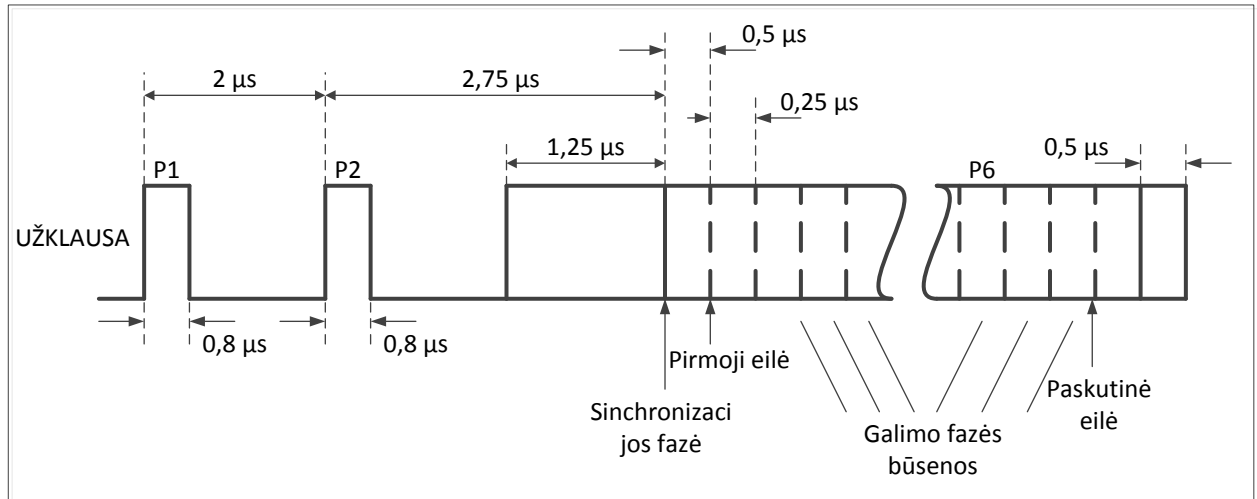
ATCRBS sistema turi apribojimus. Kuo daugiau apkrauta oro zona tuo daugiau antžeminė stotis gauna atsakymų, kurių per didelis kiekis gali apkrauti sistemą ir tiesiog skrydžių operatorius nebepajėgus susidoroti, taip pat signalai gali užgožti vienas kitą. Persidengę signalai gali daryti įtaką vienas kitam, tokiu atveju atsakymas tiesiog nebus suprastas. S režimas buvo suprojektuotas tam, kad pasirinktinai tik tam tikro atsakiklio vartotojas gali atsakyti.

S režimas veikia tokiais pačiais dažniais kaip ir ATCRBS atsakikliai, todėl vienas iš svarbiausių reikalavimų yra S režimas negali daryti įtakos jau veikiantiems ATCRBS sistemos atsakikliams. Tuo pačiu metu S režimu veikiantys atsakikliai turi veikti ATCRBS sistemoje. Dėl šios priežasties buvo sukurti du nauji užklausų tipai: diferencinis fazės poslinkio išlaikymas (DPSK) ir pulso amplitudės moduliacija (PAM) su P4 pulsais.

S režime pasirenkamieji adresai yra ilgesnių pulsų formato nei A ar C režime, todėl duomenų bitai gali kaupti daugiau informacijos. Dėl tos priežasties, kai S režimo pranešimas yra ilgesnis, reikalingas didesnis laikas žinutei nuskaityti ir užklausaui įgyvendinti. GTX 330 atsako į antžeminių stočių užklausas ar kitų orlaivių užklausas naudojant pasirenkamosios stygos kodą. Prietaisas atsako žinute su duomenų paketu, kuriame nurodoma papildoma identifikacijos informaciją apie kiekvieną užklausą.

Visos S režimo (P6 tipo) užklaustos sudarytos iš DPSK moduliacijos formato. Šių užklausų formavimas parodytas 23 paveiksle. P1 – P2 pulsų pora yra transliuojama siekiant ATCRBS atsakiklius ignoruoti S režimo žinutes, taip ATCRBS atsakikliai nukreipiami į šoninių skilčių slopinimo (SLS) periodą, leidžiant S režimo atsakikliams gauti užklausą iki 35 μs laiku.

Pulso amplitudės moduliacija (PAM) su P4 leidžia antžeminėms stotims S režimu užklausti ATCRBS atsakiklius ir tuo pačiu metu pasirinktinai ją adresuoti S režimą turintiems atsakikliams. Kai antžeminių stočių siunčiamos S režimo žinutės su P4 trumpu pulsu ($0,8 \mu\text{s}$), atsako tik ATCRBS atsakikliai. Kai antžeminės stotys siunčia S tipo užklauso ilgą P4 pulsu ($1,6 \mu\text{s}$) ATCRBS atsakikliai atsako ir S režimu veikiančių atsakiklių atsakymai siunčiami DF11 formatu. Jei P4 pulsas nėra fiksuojamas borto įrangos, tokio tipo žinutė yra atsakoma vienodai ATCRBS ir S tipo žinutėmis.

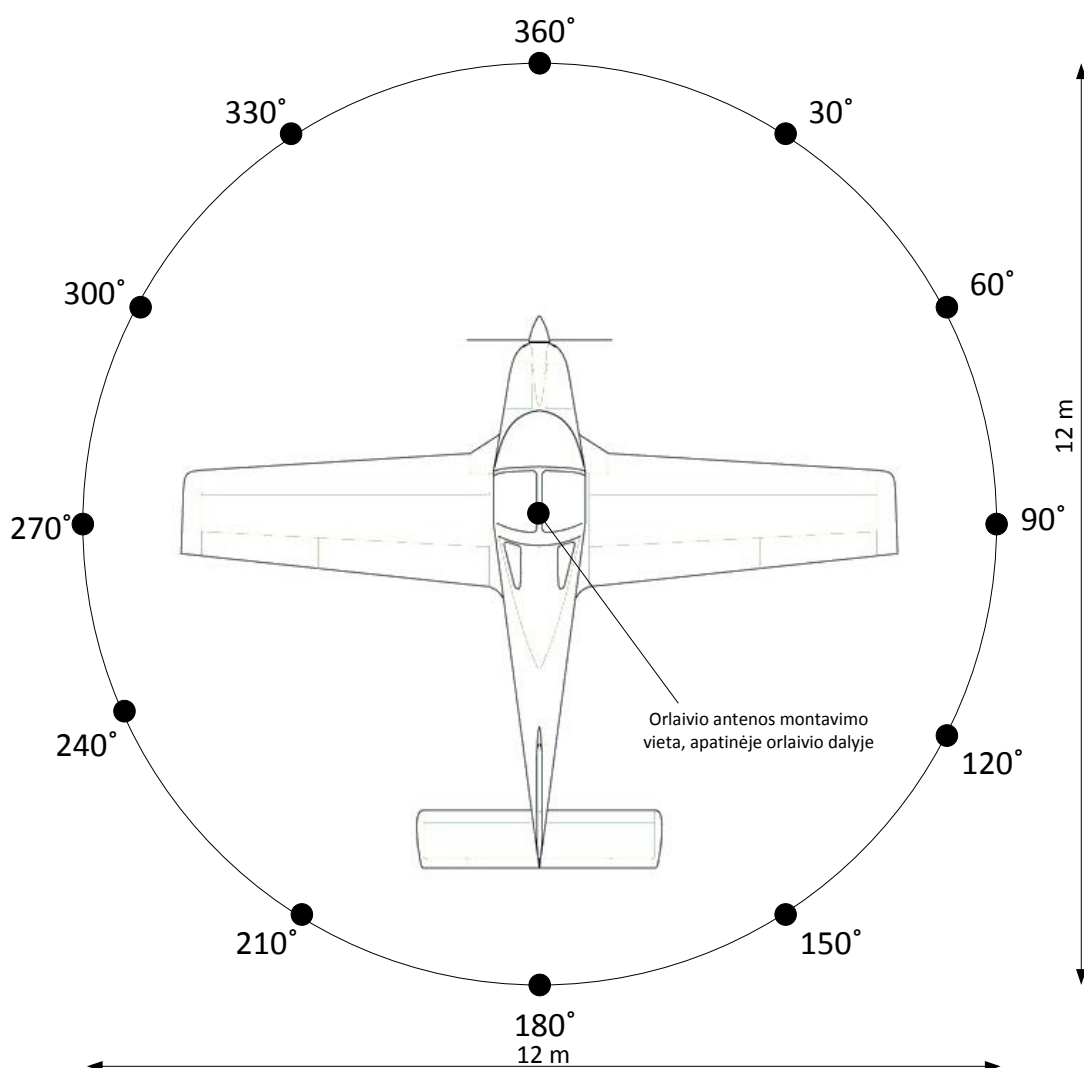


24 pav. DPSK užklauso formavimas

Pulsai P1, P2 ir P5 turi tokią pačią formą kaip ir PAM pulsai P1, P2 ir P3. P6 yra arba $16,25 \pm 0,25 \mu\text{s}$, arba $30,25 \pm 0,25 \mu\text{s}$ ilgio. P6 pakilimo laikas yra tarp $0,05$ ir $0,01 \mu\text{s}$ ir nusileidimo/grįžimo į nulį, laikas $0,05$ ir $0,2 \mu\text{s}$. P2 amplitudė yra ne daugiau nei $0,25 \text{ dB}$ mažesnė už P1 amplitudę. Pirmąją mikrosekundę P6 amplitudė yra ne daugiau nei $0,25 \text{ dB}$ mažesnė už P1 amplitudę.

6. TYRIMO METODIKOS APRAŠYMAS

Pagal 4 skyriuje nurodytą ir pasirinktą tyrimų metodiką ir bandymus, taip pat atsižvelgiant į tyrimų stendo dokumentacijoje nurodytus atstumus, sudarome matavimų pozicijų vietas. Pasirenkamos 12 atskiros turimos pozicijos, siekiant gauti duomenis iš tinkamų duomenų horizontalioje plokštumoje (24 pav.).

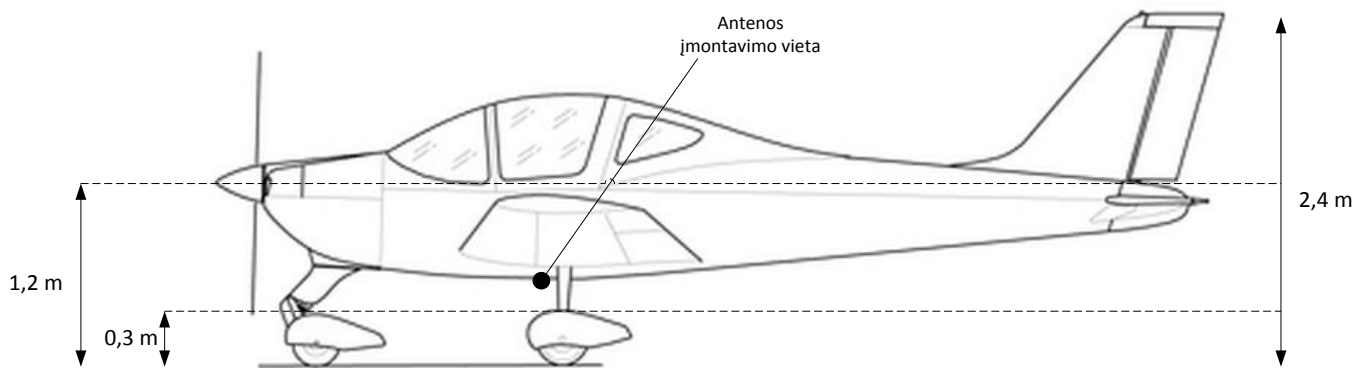


25 pav. Horizontaliosios tyrimo pozicijų vaizdas

12 tyrimo horizontaliųjų pozicijų pasiskirsčiusios aplink tiriamąjį orlaivį kas 30° , taip gaunant tikslius matavimų duomenis horizontalioje plokštumoje apskritimu aplink orlaivį. Apskritimo skersmuo parinktas 12 metrų, kiekvienai matavimo pozicijai nutolus 6 metrams nuo matavimo antenos iki imtuvo, kaip nurodyta 10 paveiksle – IFF-701Ti bandymų stendo ir matavimo objekto bandymo nustatymo atstumų pasirinkimo grafikas. 12 pasirinktų pozicijų yra minimalus pozicijų skaičius siekiant gauti tikslius duomenis. Norint patikslinti matavimo rezultatus šį pozicijų skaičių reikėtų didinti (kuo didesnis

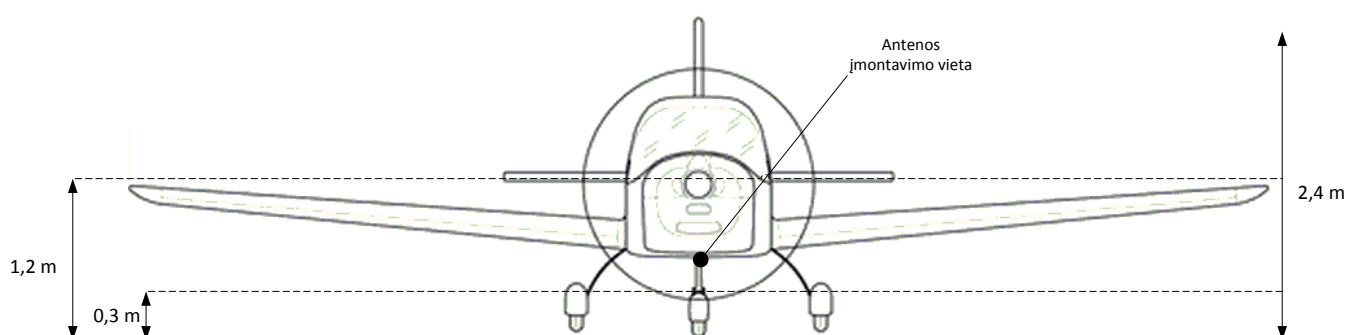
matavimų pozicijų pasirinkimų skaičius, tuo tikslesni duomenys yra gaunami, atsižvelgiant į bandymo metodiką).

Atsižvelgiant į 4-ame skyriuje apibūdintus bandymus ir 9-ame paveiksle nurodytus atstumus bei aukščius bandymams atlikti, pasirenkami du matavimų aukščiai: 0,3 metro, bei 1,2 metrų. Matavimų aukščiai matuojami nuo žemės iki centrinės bandymų stendo antenos dalies.



26 pav. Bandymų atlikimo aukščiai orlaivio šono atžvilgiu

Kiekviename iš šių dviejų aukščių, pažymėtų punktyrine linija 26 paveiksle, atliekami bandymai atsižvelgiant į 24 paveiksle pažymėtas horizontaliąsias pozicijas, pasirinktas aplinkui orlaivį. Siekiant patikrinti bandymų duomenis yra pasirinkti du aukščiai, tačiau norint duomenis tikslinti galima pasirinkti didesnę aukščių intervalą ar pasirinkti daugiau aukščio variantų.



27 pav. Bandymų atlikimo aukščiai orlaivio priekio atžvilgiu

27 paveiksle parodyti tie patys aukščiai kaip ir 25 paveiksle, tačiau jame matyti bandymų aukščio pasirinkimo svarba. Dėl orlaivio konstrukcijos ypatybės – išlenktų sparnų ir antenos įmontavimo pozicijos – bandymai atliekami 0,3 metro aukštyje yra tiesiogiai gaunami be pašalinių objektų, užstojančių matavimų objektą, o bandymai atliekami 1,2 metrų aukštyje yra matuojami esant aerodinaminių plokštumų šešėliui (90° , 180° ir 270° horizontaliosiose matavimų pozicijose).

7. TYRIMO DUOMENYS

7.1. Atsakiklio dažnio bandymas

Dažnio bandymas yra įprastas atsakiklio bandymas, kurio metodika nurodoma 4.5 skyriuje, bandymo stendo operacijų vadove. Šis bandymas skirtas operatoriui įsitikinti atsakiklio signalo dažnio patikimumu (AEROFLEX 2004).

4 lentelė. Atsakiklio dažnio bandymo rezultatai

Eil. Nr.	Horizontali tyrimo pozicija	Žemesnė pozicija (0,3 m)	Aukštesnė pozicija (1,2 m)
1	30°	1089,78 MHz	1089,74 MHz
2	60°	1089,73 MHz	1089,75 MHz
3	90°	1089,78 MHz	1089,78 MHz
4	120°	1089,79 MHz	1089,74 MHz
5	150°	1089,74 MHz	1089,78 MHz
6	180°	1089,73 MHz	1089,79 MHz
7	210°	1089,73 MHz	1089,75 MHz
8	240°	1089,76 MHz	1089,76 MHz
9	270°	1089,77 MHz	1089,77 MHz
10	300°	1089,74 MHz	1089,78 MHz
11	330°	1089,73 MHz	1089,78 MHz
12	360°	1089,79 MHz	1089,76 MHz

Dažnio bandymas patikrina atsakiklio antenos siunčiamo signalo dažnį, kuris atsižvelgiant į nominalųjį – 1090 MHz gali kisti ± 3 MHz (EASA 2012). Bandymų stendas priimdamas atsakiklio signalo dažnį jį patikrina ir esant didesnei nei ± 3 MHz paklaidai, identifikaciniame ekrane nurodo bandymo rezultatą FAILED. Atlikus dažnio bandymą matyti, kad atsakiklio signalo dažnis kinta nuo 1089,72 MHz žemiausio dažnio vertės iki 1089,79 aukščiausio dažnio vertės, tai sudaro -0,28 MHz didžiausią nuokrypį nuo nominaliosios vertės (0,025 % nuokrypis nuo galimo 0,27 % nuokrypio nuo nominaliosios vertės). Atsižvelgus į aparatūros pobūdį ir esamas meteorologines sąlygas, taip pat ir galimas paklaidas, šie bandymo rezultatai yra tikslūs. Visais atvejais gaunamas dažnis atitinka galimą dažnio nuokrypį.

7.2. Atsakiklio galios bandymas

Atsakiklio galios bandymas yra skirtas nustatyti ERP, efektyviosios tiriamojo atsakiklio spinduliuojamosios galios ir MTL, minimalaus sužadavimo lygio (jautrumo) vertes. Šis bandymas gali būti atliekamas ir tiesiogiai sujungus stendą su tiriamuoju atsakikliu, tačiau pasirinktas nuotolinio bandymo metodas. Bandymo metodika aprašyta 4.3 poskyryje.

5 lentelė. Atsakiklio galios bandymo rezultatai

Eil. Nr.	Horizontali tyrimo pozicija	Žemesnė pozicija (0,3 m)		Aukštesnė pozicija (1,2 m)	
		ERP, W	MTL, dBm	ERP, W	MTL, dBm
1	30°	248	-73,5	248	-73,8
2	60°	248	-73,3	248	-73,9
3	90°	248	-73,6	248	-73,5
4	120°	248	-73,2	248	-73,7
5	150°	248	-73,3	248	-73,6
6	180°	248	-73,4	248	-73,5
7	210°	248	-73,5	248	-73,4
8	240°	248	-73,5	248	-73,2
9	270°	248	-73,5	248	-73,3
10	300°	248	-73,6	248	-73,2
11	330°	248	-73,3	248	-73,3
12	360°	248	-73,4	248	-73,4

Apžvelgiant į atsakiklio galios bandymų rezultatus, buvo tiriama apatinė orlaivio atsakiklio antena. Šis testas taip pat gali būti naudojamas dviem antenom vienu metu tirti antenai sumontuotai orlaivio viršutinėje dalyje. Toks antenų montavimo tipas dažniau pasitaikantis komercinėje aviacijoje, sunkiuosiuose orlaiviuose. Anot F. Kunzi 2011, dviejų antenų sistema turėtų būti saugesnė nei vienos antenos sistemos.

Tiek žemesnėje, tiek aukštesnėje matavimų pozicijoje ERP gaunami vienodi. ERP atsakiklio vadove (Garmin Inc. 2003) nurodoma, kad nominalioji GTX 330 atsakiklio galia yra 250 W, atsižvelgiant į atstumą nuo matavimų stendo ir antenos bei nuostolius tiek bandymų stende, tiek galios perdavimui į anteną, ir spinduliuojamajam darbui atlikti. atsakiklio reali galia (ERP) atitinka 99,2 % nominaliosios galios.

5-oje lentelėje nurodyti ERP duomenys vatais (W), tačiau bandymo metu duomenys gaunami decibel-milivatais (dBm). Naudojant apačioje pateikta formule bandymo rezultatai buvo perskaičiuoti.

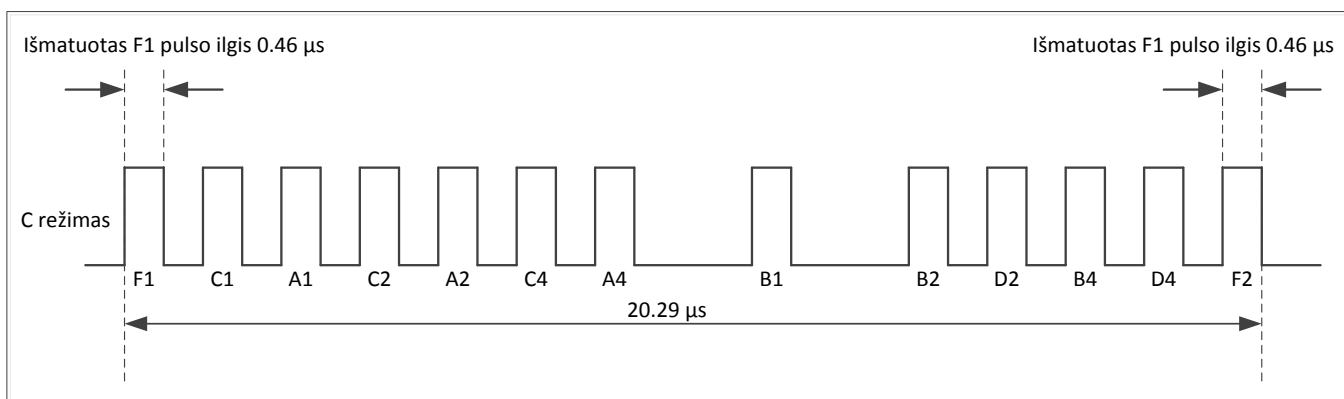
$$P_{(W)} = \frac{1W \cdot 10^{\frac{53,96 \text{ dBm}}{10}}}{1000} = 248,89; \quad (3)$$

Visais atsakiklio galios bandymo variantais, 12 bandymų apatinėje pozicijoje ir 12 bandymų viršutinėje, buvo gauta ta pati 53,96 dBm vertė.

Atsakiklio GTX 330 minimalus imtuvo lygis (jautrumas) atitinka – 73,5 dBm, tai yra lygu $2,512 \cdot 10^{-11}$ W. Todėl dBm kitimas yra visiškai nežymus lyginant jautrumo vertes viena su kita. Galima teigti, kad šimtųjų MTL (dBm) verčių pokyčiai įtakos atsakiklio jautrumui nedaro. Verčių pokytis gali atsirasti dėl išorinių veiksnių ar įprastų fluktuacijų, kadangi matavimo vertės yra nedidelės.

7.3. Atsakiklio atsakymo delsos bandymas

Atsakiklio delsos bandymo metu buvo tirti įterpties signalo F1 ir F2 impulsai, kurie skiria žinutės turinį. Bandymas buvo atliekamas 24 pozicijose, taip pat kaip ir dažnio bei galios bandymai.

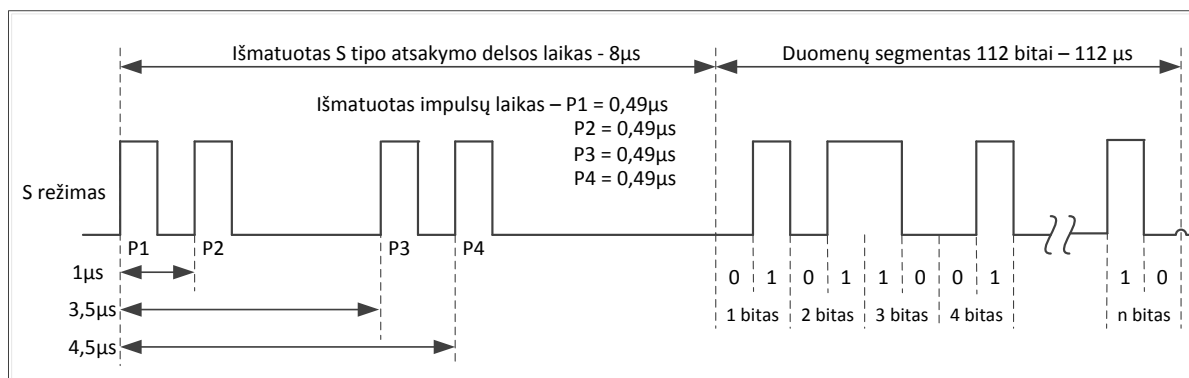


28 pav. Atsakiklio delsos bandymo rezultatai, C režimo įterpties signalas

Bandymo metu buvo gauti F1 ir F2 pulsų ilgiai – $0,46\mu\text{s}$ ir viso įterpties signalo ilgis $20,29\mu\text{s}$. Šis bandymas yra įprastas atsakiklio bandymas, kurio metu atsakiklis siunčia atsakymo signalą gavęs F2 pulsą. Tačiau S režimu veikiantis atsakiklis gavęs F3 signalą, kuris šiuo bandymu nėra formuojamas, nutrauks atsakymo procedūrą ir vietoj jo atsakymą formuos trumpu S režimo atsakiklio atsakymu, sudarytu iš 24 bitų adreso. Atsakymo dydis atitinka $16,125\mu\text{s}$ duomenų signalo ilgiui. Šis signalas yra skirtas orlaivio pozicijos atnaujinimui.

S režimo bandymas buvo atliktas kartu su atsakiklio atsakymo delsos bandymu. Pateikti duomeys ir gauti rezultatai parodyti 29 paveiksle. S režimo atsakymo bandymo metu gautas platus pulsas – 0,8 μS , kuris sudarytas iš keturių suformuotų impulsų. Jie perdengia A ir C tipo atsakymus. Šie pulsai formuojami impulsų moduliacijos metodu. Kiekvienas 1 μS intervalas yra padalinamas į 0,5 μS intervalus, kuriuose pirmoji 1 μS pulso dalis yra teigiamas impulsas, o antroji – puslo nebuvimas (arba atvirkščiai) – taip formuojamas binarinis kodas (Orlando 1986).

Šis formatas yra itin atsparus trugdžiams dėl skirtingų impulsų lygių. Tačiau gali nutikti ir taip, kad dėl išorės veiksnių vienas iš impulsų neatitinka tinkamos 0 ar 1 reikšmės, todėl specialūs klaidų taisymo kodai yra generuojami žinutėje.



29 pav. Atsakiklio delsos bandymo rezultatai, S režimo atsakymo signalas

7.4. Skirtumo izoliacijos bandymas

Pagrindinis šio bandymo tikslas – nustatyti skirtumo izoliaciją: antenos spinduliavimo skirtumą tarp periodinių žinučių prijungus ir atjungus anteną. Bandymai atliekami uždengus anteną ir atidengus tris kartus.

6 lentelė. Skirtumo izoliacijos bandymo rezultatai

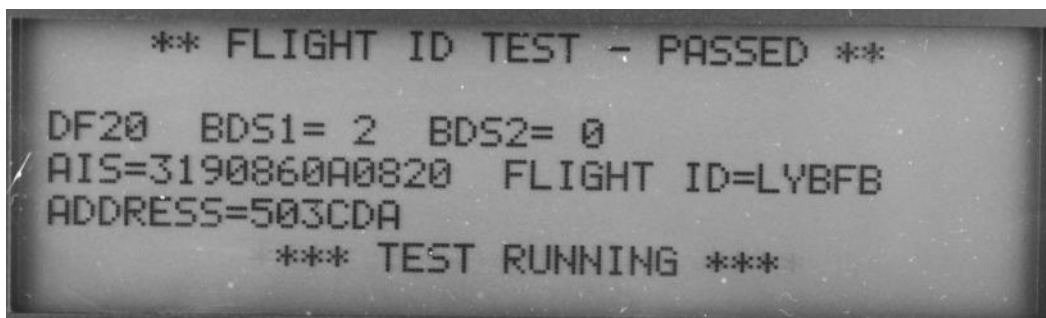
Bandymo numeris	Bandymų stendo antenos atstumas nuo tiriamosios antenos, m	Skirtumo izoliacija, db
1	15,3	26
2	15,3	26
3	15,3	26

Šiuo bandymu buvo įsitikinta, kad skirtumas tarp periodinių žinučių GTX 330 atsakiklyje, kai antena yra blokuojama, yra didesnis nei 26 db. Atsižvelgiant į tiriamojo atsakiklio vadovą (Garmin Inc. 2008), matyti, kad skirtumas yra didesnis nei minimali reikalaujama vertė 20 dB (Federal 1989).

Šis bandymas buvo atliekamas 3 kartus, siekiant gauti tikslias skirtumo izoliacijos vertes, atsižvelgiant į IFF-701Ti operacijų vadovo nurodymus (AEROFLEX 2004). Vykdamas šį bandymą tyrimų atstumas tarp tyrimų stendo ir tiriamosios antenos turi būti 15,29 m. Šis bandymas taip pat reikalauja atsakiklio GTX330 nustatymo, transliuoti periodines žinutes. Tokią savybę tiriamasis atsakiklis turi.

7.5. Orlaivio identifikacijos bandymas

Atsakiklio identifikacijos bandymas skirtas įsitikinti ar atsakiklyje įrašyti duomenys yra matomi skrydžių vadovams. Šis bandymas nenurodo atsakiklio signalo savybių, tačiau pademonstruoja vieną iš pagrindinių duomenų, naudojamų oro erdvei stebėti.



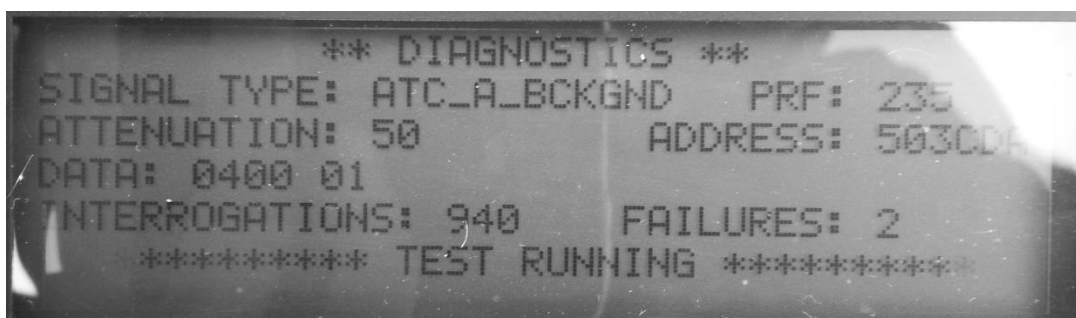
30 pav. Atsakiklio delsos bandymo rezultatai, S režimo atsakymo signalas

Tiriamasis atsakiklis yra įmontuotas TECNAM P2002-JF orlaivyje, kurio nacionaliniai registracijos ženklai yra LY-BFB. Eilutėje ADDRESS nurodomas atsakiklio identifikacinis numeris, kuris yra priskiriamas individualiai atsakikliui.

7.6. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas

Šis bandymas pademonstruoja išsiųstų įterpties žinučių skaičių, kartu su nepriimtų žinučių skaičiumi. Bandymų stendas suformuoja itin trumpus impulsų signalus, kuriuos GTX330 priima per trumpą laiką. Šis bandymas nurodo atsakiklio signalų kiekį, kuriuos jis gali priimti iš įterpties įrenginio, taip pat netiesiogiai parodydamas antenos signalo išsiuntimo galimybes.

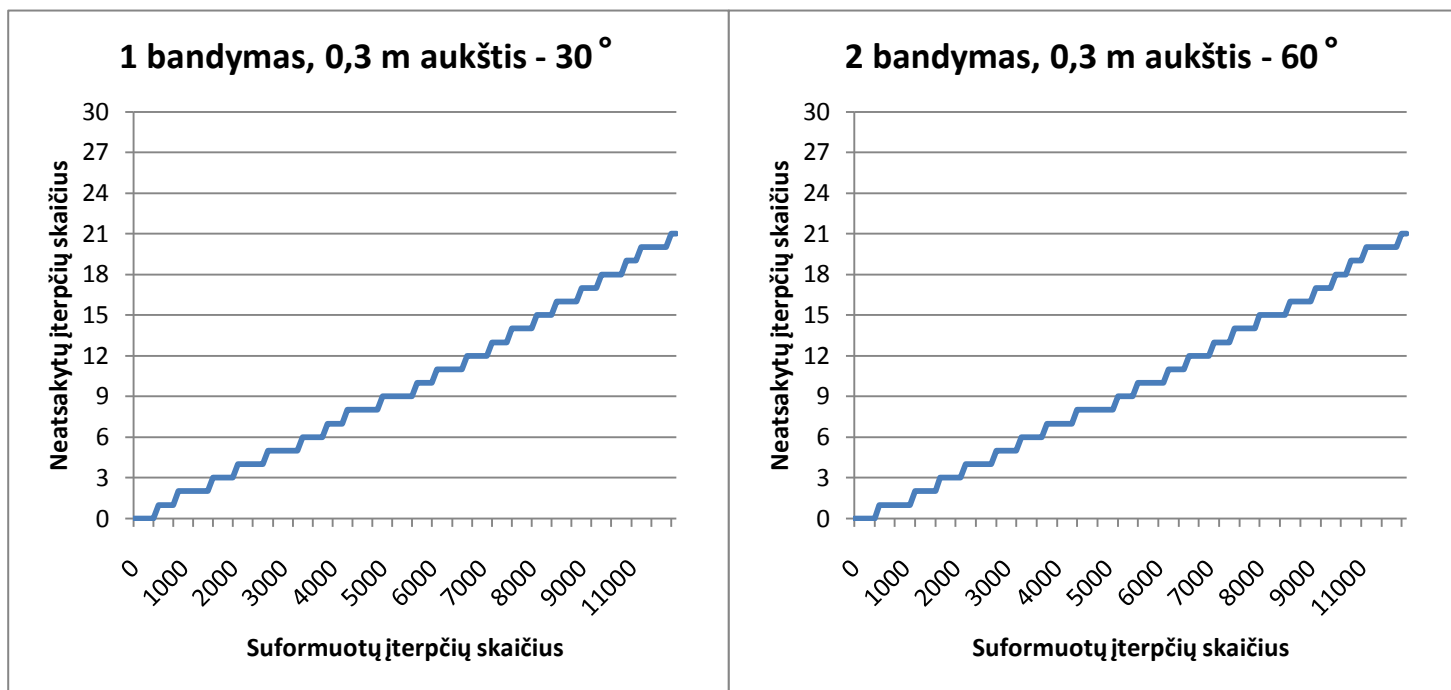
Bandymas atliktas 24 skirtinguose taškuose. Kiekviename iš jų atsakikliui buvo siunčiama apie 11 000 bandymo signalų, iš kurių dalis dėl aplinkos veiksnių ir įrangos paklaidų nepasiekia vartotojo.



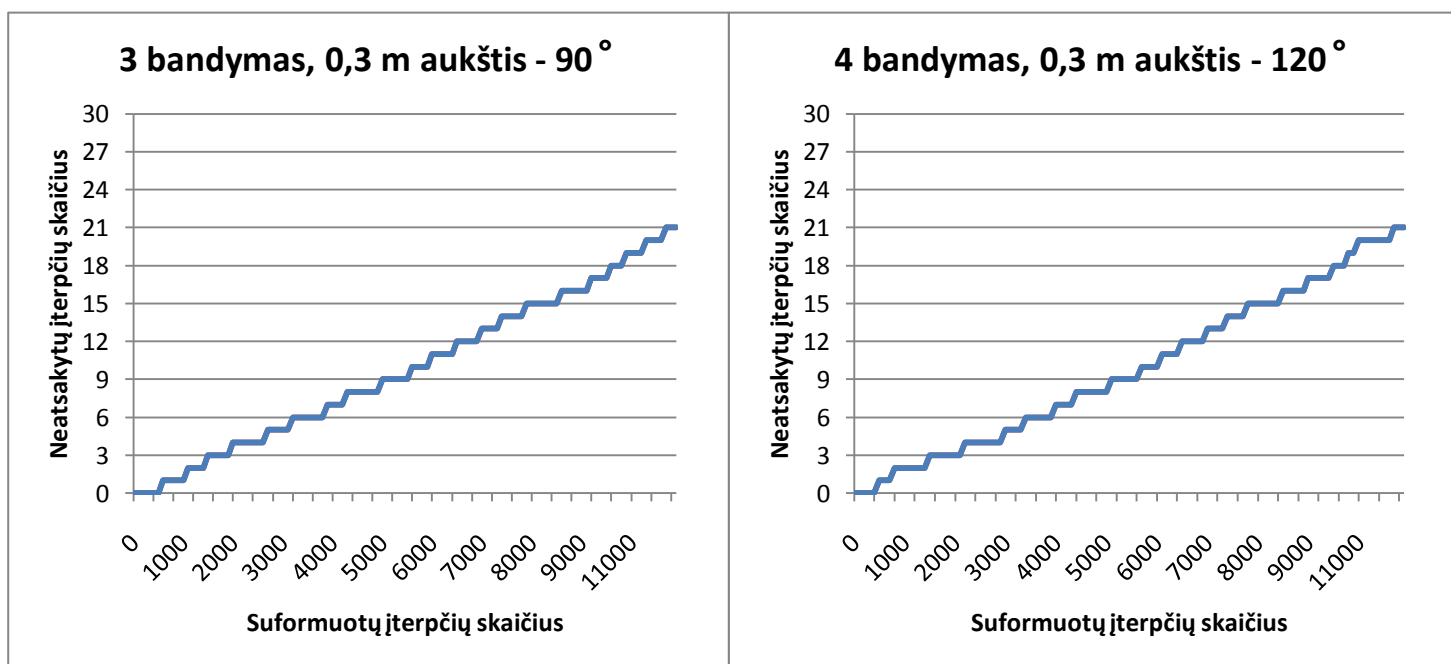
31 pav. Atsakiklio signalo diagnostiko bandymas

30 paveiksle pavaizduotas atsakiklio signalo diagnostikos bandymas esant 30° apatinėje matavimų pozicijoje. ADDRESS eilutėje nurodomas individualaus atsakiklio numeris, kuris šiuo atveju įmontuotas orlaivyje (nacionaliniai reg. ženklai LY-BFB).

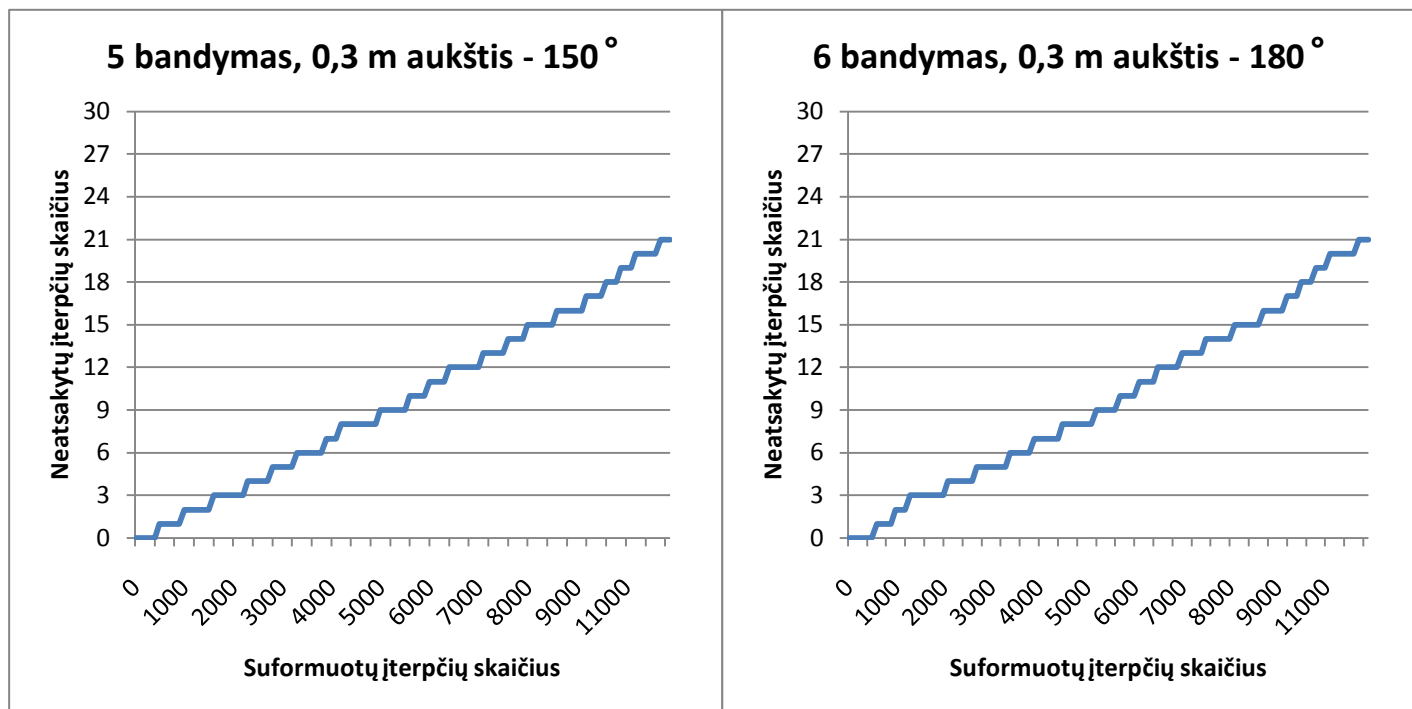
Atsakiklio signalo diagnostikos bandymo rezultatų grafikai:



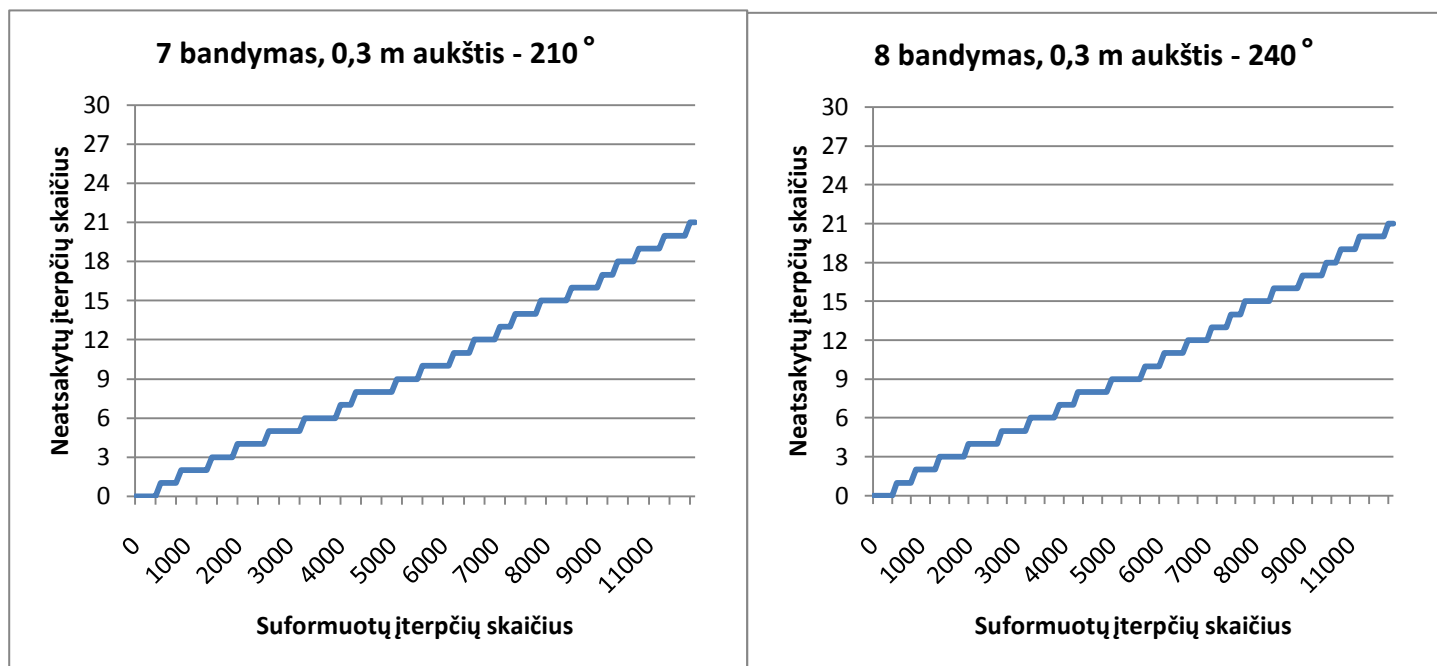
32 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 30° ir 60° nuo orlaivio ašies



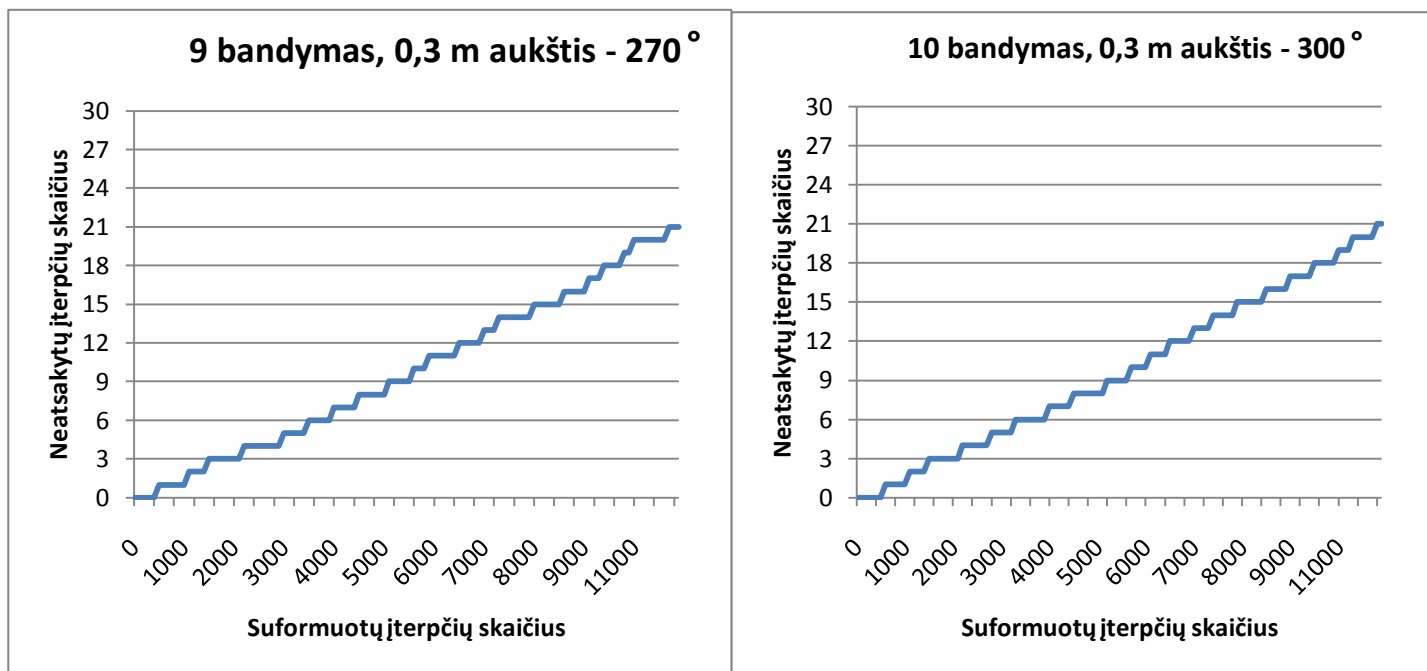
33 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 90° ir 120° nuo orlaivio ašies



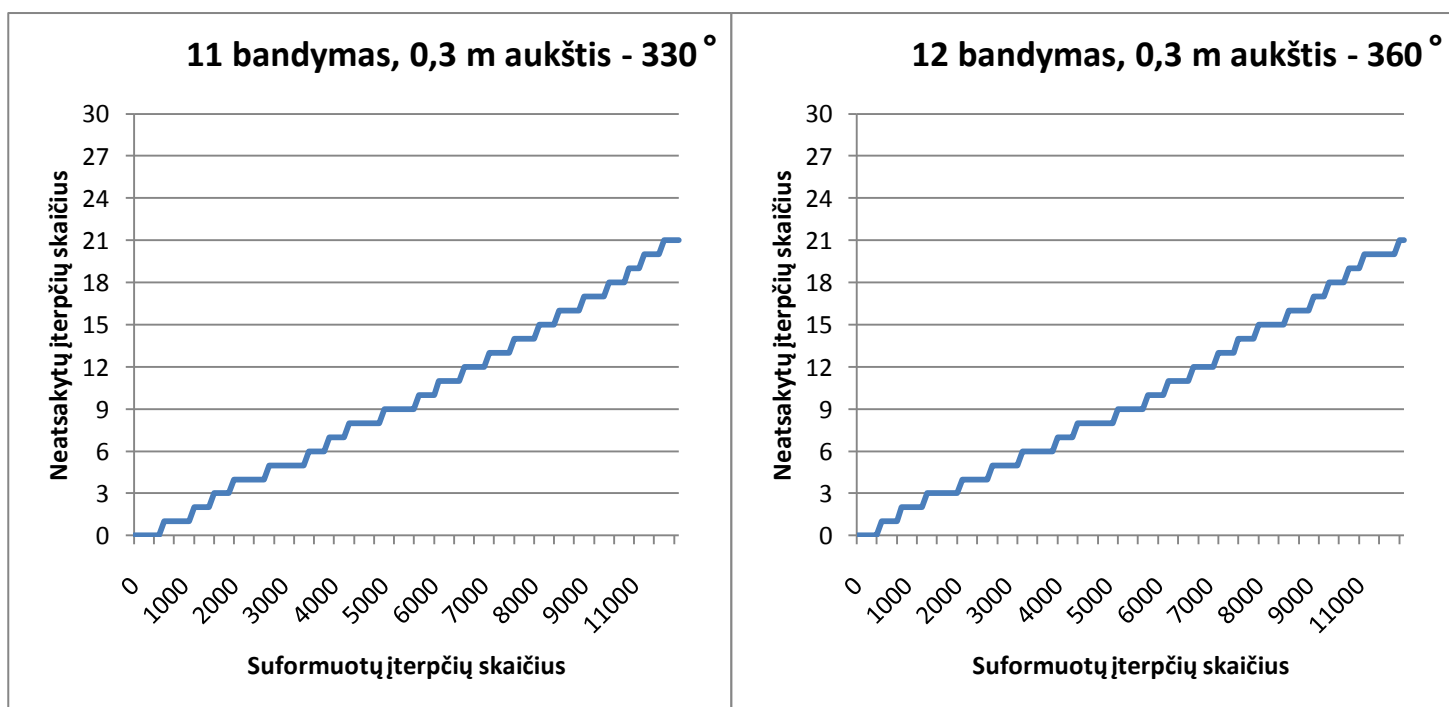
34 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 150° ir 180° nuo orlaivio ašies



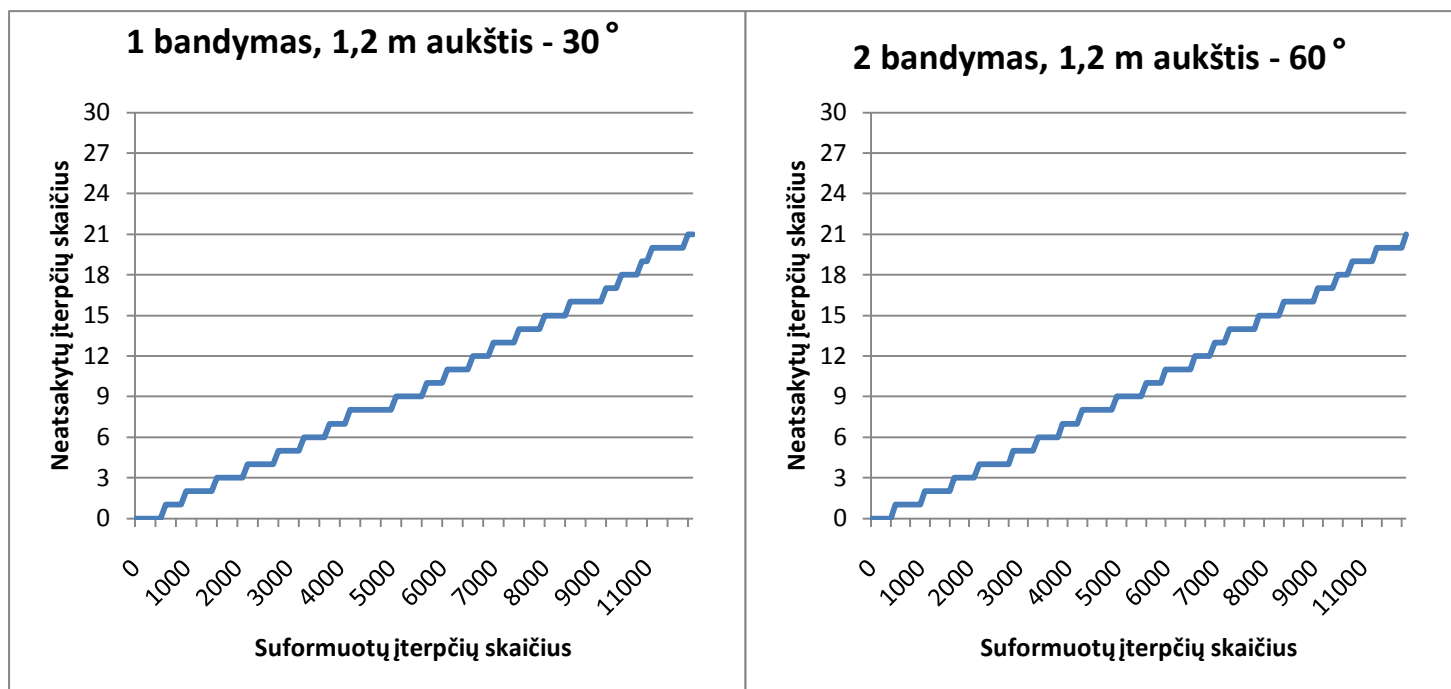
35 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 210° ir 240° nuo orlaivio ašies



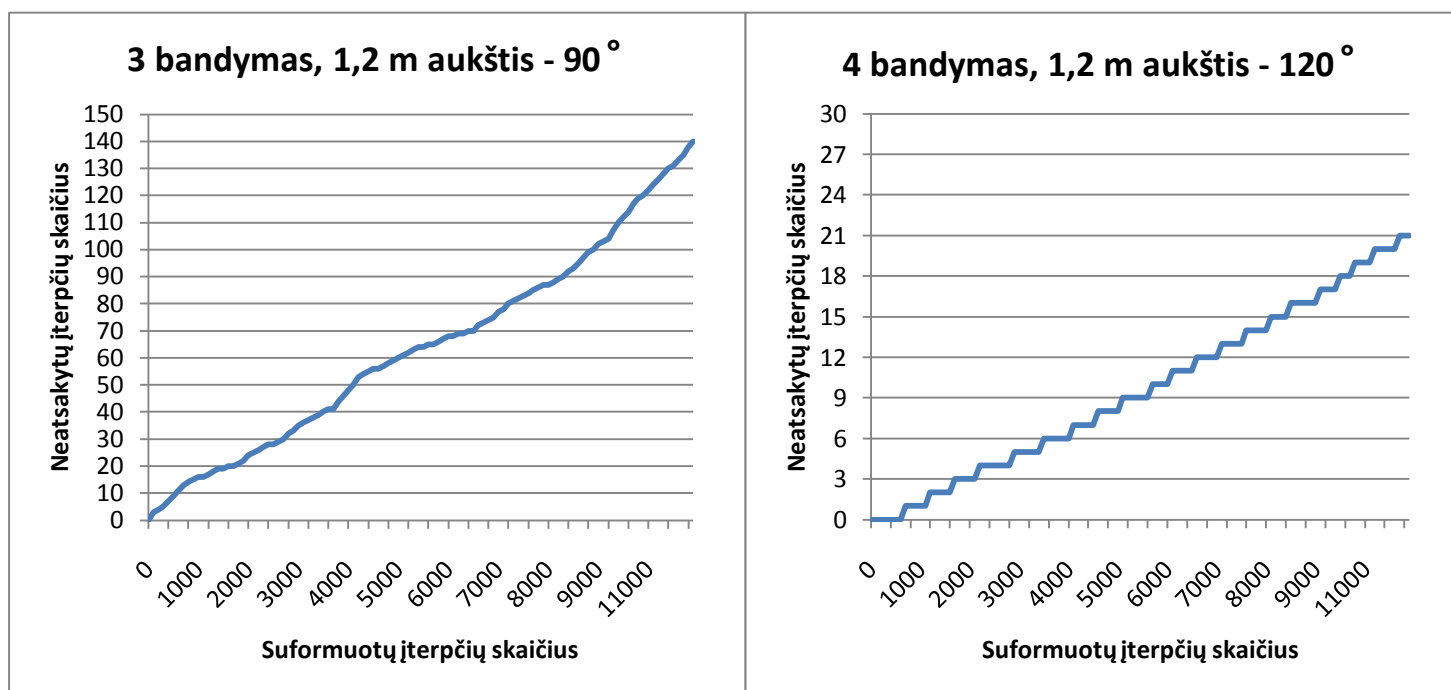
36 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 270° ir 300° nuo orlaivio ašies



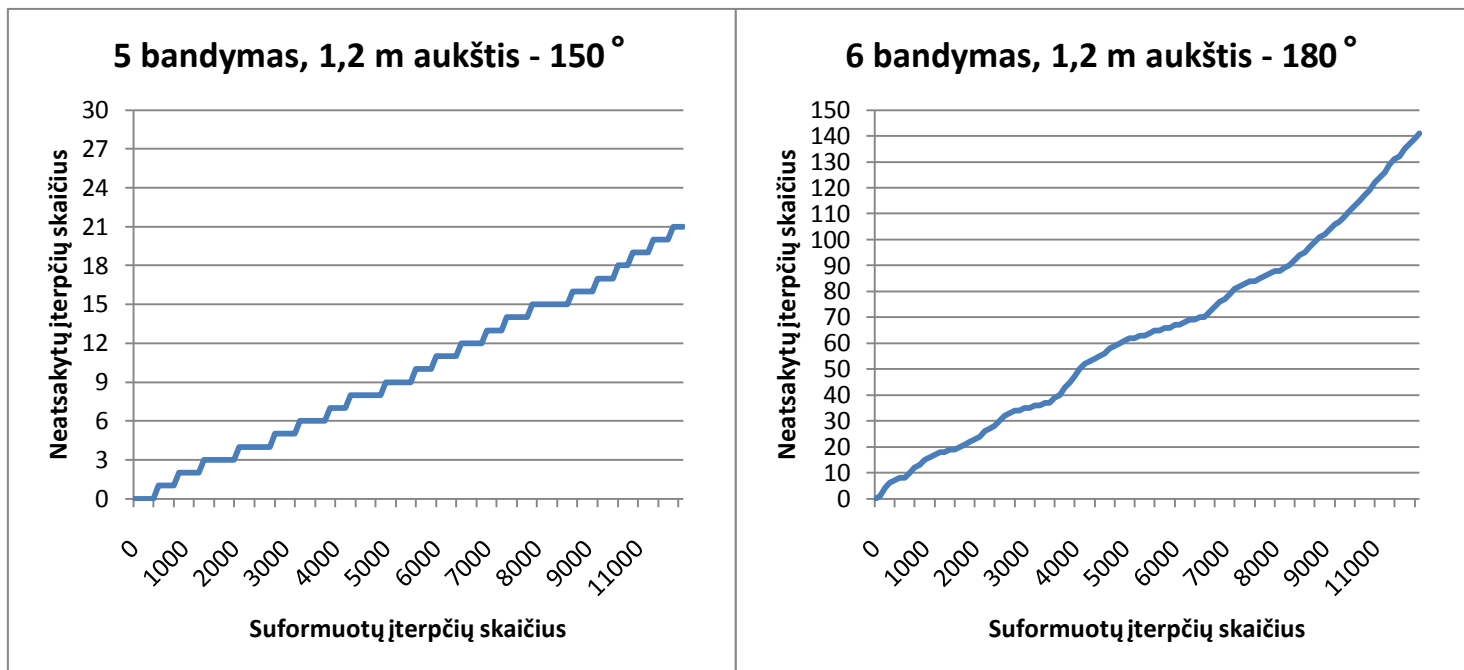
37 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 0,3 m, 330° ir 360° nuo orlaivio ašies



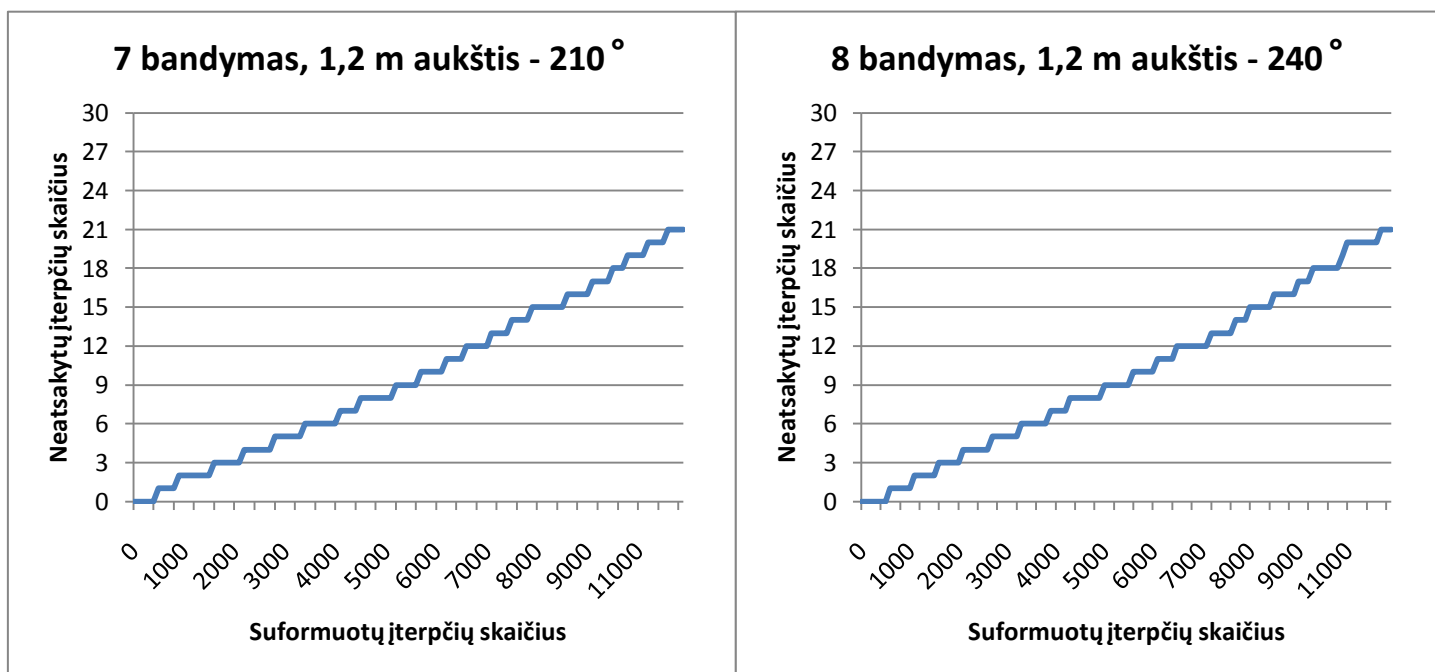
38 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 30° ir 60° nuo orlaivio ašies



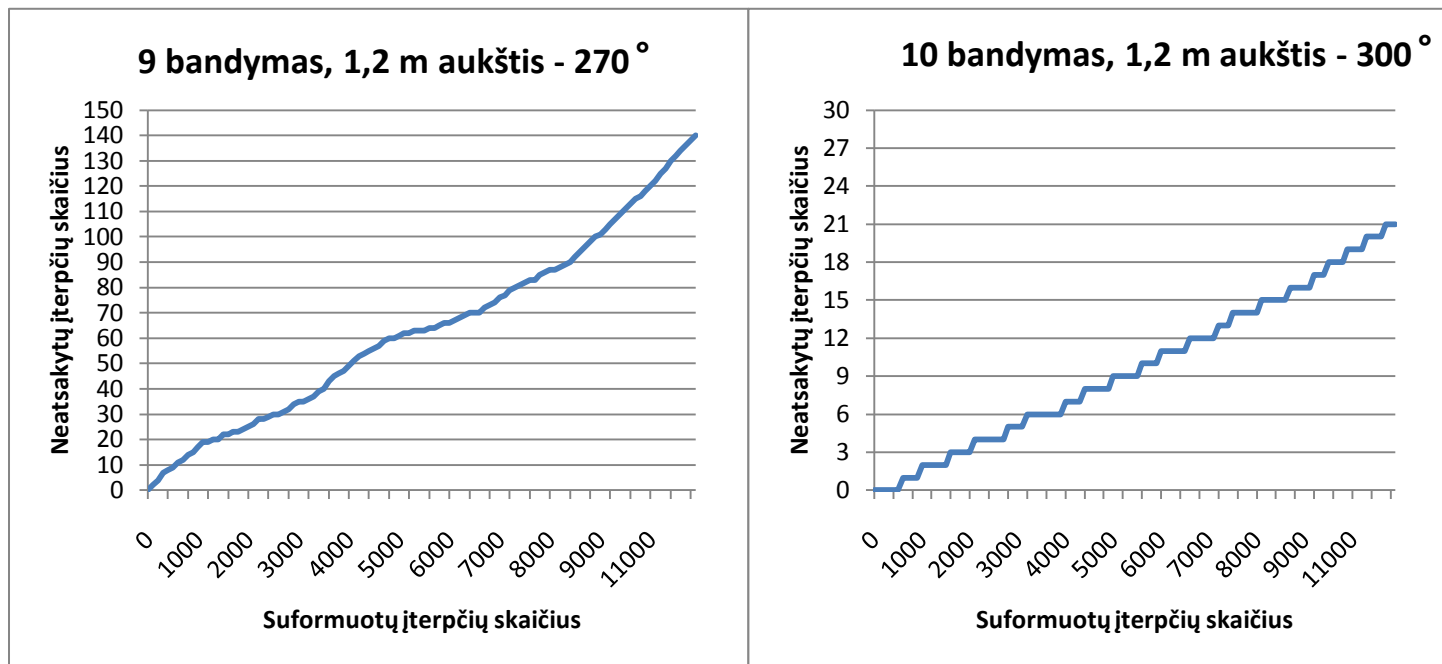
39 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 90° ir 120° nuo orlaivio ašies



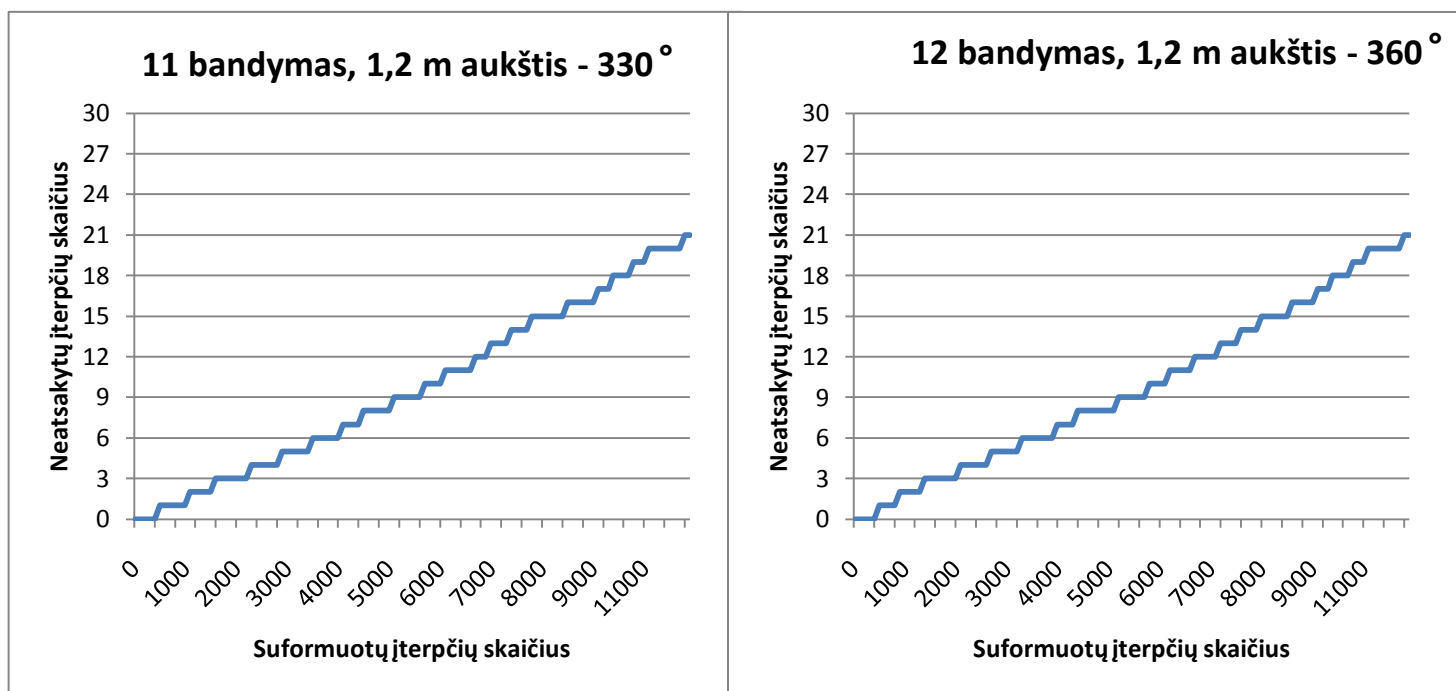
40 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 150° ir 170° nuo orlaivio ašies



41 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 210° ir 240° nuo orlaivio ašies



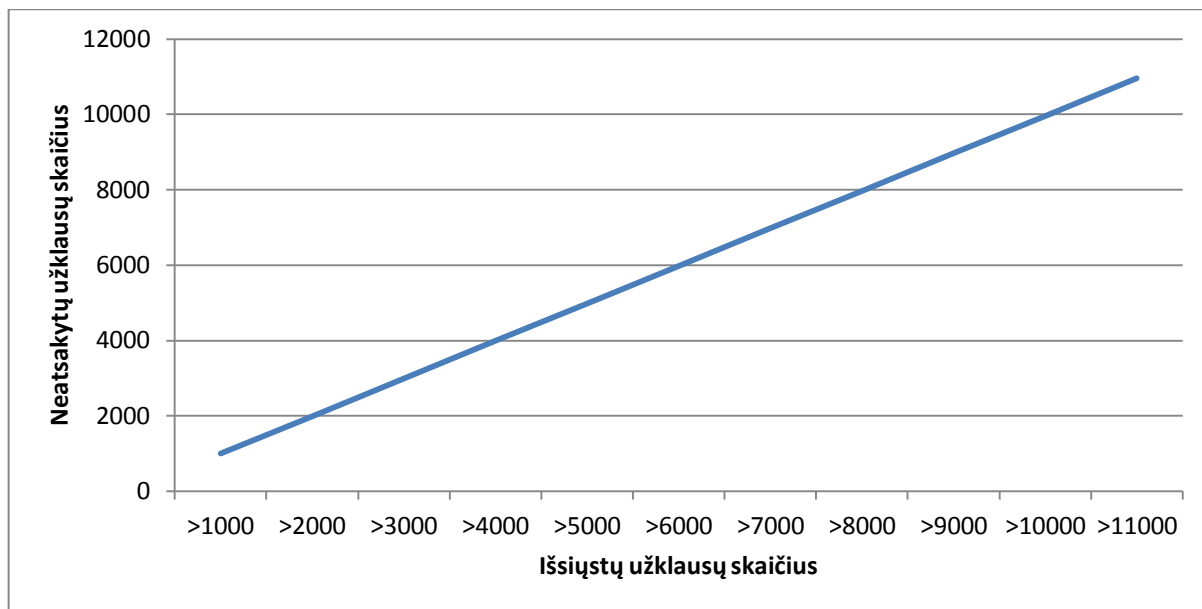
42 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 270° ir 300° nuo orlaivio ašies



43 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimų antenos aukštis 1,2 m, 330° ir 360° nuo orlaivio ašies

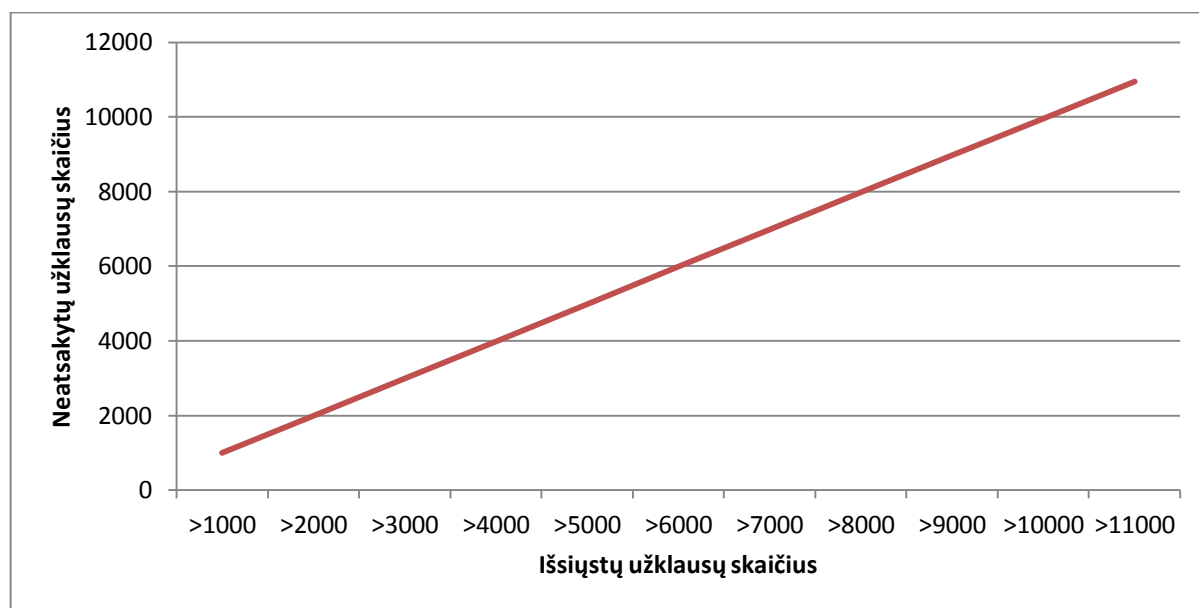
8. PAPILDOMI TYRIMAI

Papildomi testai buvo atliekami, siekiant įsitikinti gautų rezultatų patikimumu. Identifikavimo ir signalo stiprio testai buvo atliekami tiriamojo prietaiso transliavimo anteną uždengiant pašaliniais objektais: storu ledo sluoksniu ir aliuminio danga. Aliuminio danga taip pat buvo uždengiama ir tyrimų stendo antena.



44 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai matavimo antena apdengta aliuminio danga

Iš 44 ir 45 paveikslo matyti, kad išsiųstų užklausų skaičius yra proporcingai lygus neatsakytų užklausų skaičiaus, tai reiškia, kad bandymų stendas negauna jokio signalo iš tiriamojo atsakiklio ir atvirkščiai.



45 pav. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, kai bandymų stendo antena apdengta aliuminio danga

9. DARBO SANTRAUKA

ADS-B yra nauja oro erdvės stebėjimo sistema, kuri šiuo metu integruojama visose aviacijos srityse ir pripažįstama aviacijos kompetentingų institucijų. Ši sistema yra naujos kartos oro erdvės stebėjimo priemonė, kurios tikslas pakeisti standartines pirminių ir antrinių radarų sistemas (Smith *et al.* 2006). Atsižvelgus į esančią įprastinių radarų infrastruktūrą, ADS-B sistema pasižymi itin mažais pritaikymo ir techninės priežiūros kaštais.

Šio darbo metu buvo atlikti GTX 330 atsakiklio bandymai naudojant IFF-701Ti bandymų stendą. Atlikus ADS-B sistemos taikymo ir veikimo analizę buvo nustatyta, jog šios sistemos taikymo metodikos ir aparatūra yra skirstomos į šias pagrindines sritis:

- bendrosios aviacijos aparatūra;
- komercinės aviacijos aparatūra;
- karinės aviacijos aparatūra.

Šiame darbe išanalizuota ADS-B sistema, jos pritaikymas ir aparatūra atsižvelgiant į naujausią ir tradicinę literatūrą. Taip pat sumodeliuoti tyrimai apžvelgiantys sistemos dalį pritaikytą bendrosios aviacijos orlaiviams. Išanalizuotas ADS-B In signalas, kuris pagal EASA reikalavimus (Eurocontrol 2012) iki 2020 metų taps privalomas visiems orlaiviams. Kadangi sistema yra itin sudėtinga, susidedanti iš kosmoso, vartotojų ir antžeminio segmentų (Pakrijauskas *et al.* 2014), tyrimo metodika buvo pritaikyta tik bendrosios aviacijos atsakiklių su S režimo galimybe. Šie atsakikliai sudarys plačiausiai pritaikytą ADS-B sistemos aparatūros apimtį bendrosios aviacijos avionikos rinkoje.

Atliktus bandymus galima klasifikuoti į šiuos porūšius:

- signalo kokybės patikros bandymai;
- signalo sudėties bandymai;
- signalo patikimumo bandymai.

Signalų kokybės bandymai – atlikti siekiant nustatyti signalo kokybines vertes. Jie yra paprasčiausi šio tyrimo bandymai, kurie patvirtina tiriamojo atsakiklio identifikacinį kodą, 7.5 skyrius – Orlaivio identifikacijos bandymas. 7.1 ir 7.2 skyriuose Atsakiklio dažnio bandymas ir Atsakiklio galios bandymas, taip pat galima skirstyti kaip signalo kokybės bandymus.

Signalų sudėties bandymai – atlikti siekiant nustatyti signalo vėlavimo vertes, impulsų formavimo pobūdį, signalo delsos laikus. Šie bandymai nurodo signalo sudedamąsias dalis ir yra detalieji sudėties bandymai. Kadangi ADS-B sistemos tikslas – komunikacija ir oro erdvės stebėjimas, komunikacijų signalai yra pagrindinė sudedamoji ADS-B sistemos dalis, apimanti palydovinio ryšio signalus ir 1090 MHz komunikacijos signalus tarp antžeminių stočių ir ore esančių orlaivių ir karinius signalus. Tyrimo metu atlikti Atsakiklio atsakymo delsos bandymas (7.3 skyrius) ir Skirtumo izoliacijos bandymas (7.4 skyrius), kurie apibūdina ADS-B sistemos, S ir C tipo atsakiklių signalų formavimo rezultatus.

Signalų patikimumo bandymai – šie bandymai skirti patikrinti signalo patikimumą. Signalai gali būti: atsakiklio formuojami informaciniai signalai ir antžeminių stočių (šio tyrimo metu, antžeminių stočių signalus imitavo IFF-701Ti bandymų stendas) informaciniai signalai. Atsakiklio signalo diagnostikos bandymas, 7.6 skyriuje, pademonstruota išsiųstų antžeminių signalų kiekio priklausomybės nuo gautų signalų kiekio, bandymai buvo atliekami 24 pozicijose aplink orlaivį.

Šio tyrimo metu buvo patikrintas ADS-B sistemos tikslumas, tačiau tikslumo priklausomybė nuo atstumo nėra patikrinta, kadangi tokiems vertinimams orlaivis turi būti ore. Taip pat tokių matavimų galimybę riboja IFF-701Ti stendas. Atsižvelgiant į tikslumo standartus (Qingzhu 2009), ADS-B sistema patenka į 8 navigacinio tikslumo grupę iš 11 galimų:

7 lentelė. HFOM tikslumo vertės, tarptautiniai standartai

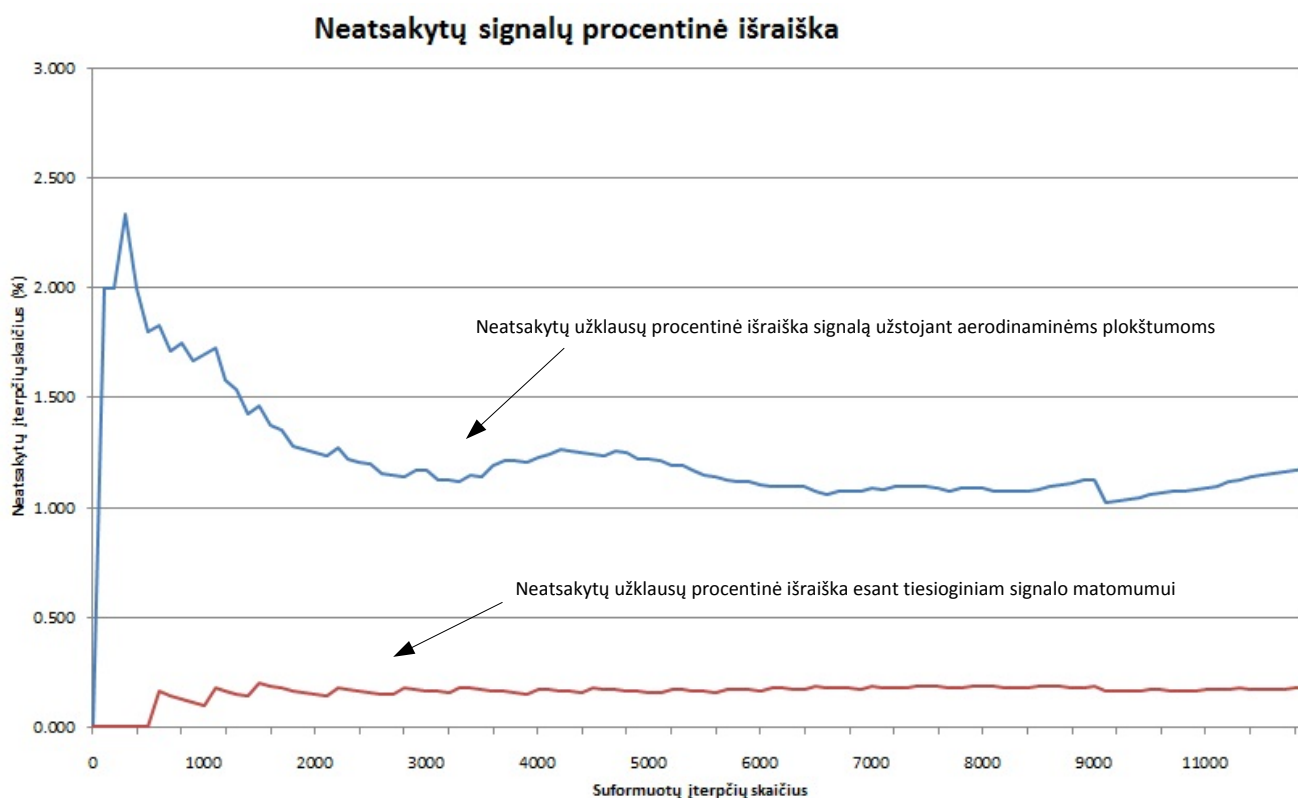
Horizontalusis imtuvo nuotolis (HFOM)	NACp vertė
HFOM > 10 nm (18,5 km)	0
HFOM < 10 nm (18,5 km)	1
HFOM < 4 nm (7,4 km)	2
HFOM < 2 nm (3,7 km)	3
HFOM < 1 nm (1,8 km)	4
HFOM < 0,5 nm (926 m)	5
HFOM < 0.3 nm (556 m)	6
HFOM < 0.1 nm (185 m)	7
HFOM < 0.05 nm (93 m)	8
HFOM < 30 m	9
HFOM < 10 m	10
HFOM < 3 m	11

HFOM, horizontalusis imtuvo nuotolis (angl. *Horizontal Figure of Merit*) nusako minimalų atstumą imtuvui, t.y. atstumo skiriamoji geba. NACp, navigacinio tikslumo pozicijos kategorija (angl. *Navigation Accuracy Category - Position*) (Chamlou 2004).

10. IŠVESTINIAI DUOMENYS

Šiame skyriuje pateikti išvestiniai duomenys – gautų rezultatų pateikimas išreiškiant gautus duomenis vizualinėmis priemonėmis ir išvestomis vertėmis, siekiant supaprastinti gautų duomenų interpretavimą.

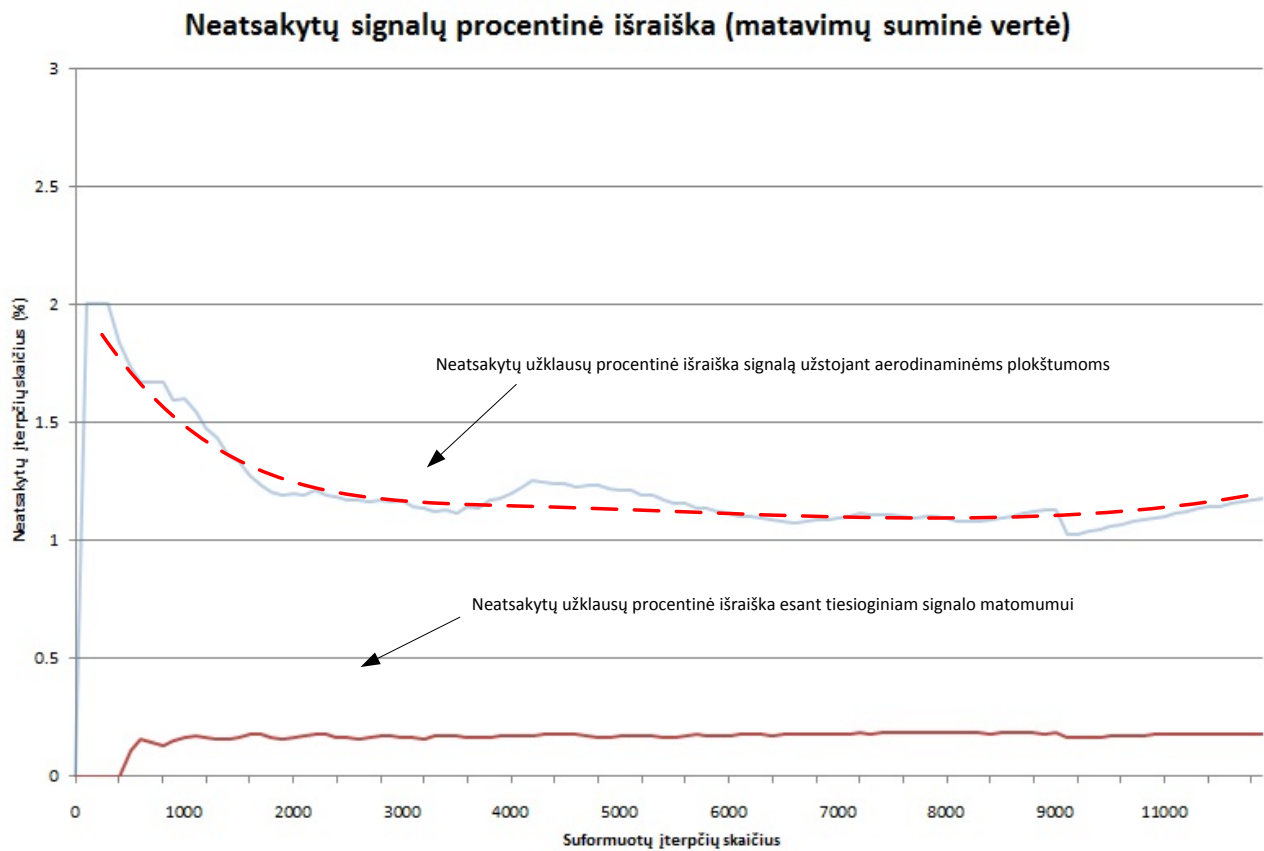
46 paveiksle pavaizduota neatsakytų užklausų procentinė išraiška, kai signalas yra užstojamas orlaivio aerodinaminių plokštumų (viršutinis grafikas), grafikas matuotas 270° pozicijoje, t. y. kai signalas yra užstojamas kairiojo orlaivio sparno (metalinis sparnas su jame esančiu degalų baku, degalų ir sparno konstrukcijomis) ir neatsakytų užklausų procentinė išraiška, kai signalas yra tiesiogiai matomas bandymų stendo antenos.



46 pav. Vienos iš pozicijų bandymo rezultatai, kai neatsakyti signalai išreikšti procentine išraiška

Signalų vertės grafiko pradžioje dėl nedidelio matavimo signalų kiekio yra netikslios, tačiau matavimų skaičiui didėjant grafikas išsilygina – tai galioja abiem signalo bandymams. Kadangi neatsakytų signalų kiekis užstojant signalą aerodinaminėmis plokštumomis yra didesnis, o viso signalų matavimui naudojama skiriamoji geba yra 100 matavimų vienos padėties metu, grafikas gaunamas netolygus.

47 paveiksle pavaizduotos visų atliktų matavimų suminės vertės išskiriant 3 matavimus, kurie savo duomenų pobūdžiu pasižymi išskirtinėmis savybėmis – 90° , 180° ir 270° bandymais, kai matavimo aukštis siekia 1,2 m gauti rezultatai skiriasi nuo kitų. Visi kiti skirtingose pozicijose esantys bandymai tiek 0,3, tiek 1,2 m aukštyje savo duomenų savybėmis neišsiskiria.



47 pav. Suminiai pozicijų bandymo rezultatai, kai neatsakyti signalai išreikšti procentine išraiška

Iš pateiktų duomenų galima matyti, jog signalai yra skirtingi neatsakytų žinučių procentine išraiška išreikštu kiekiu, punktyrinė linija žymi vidutinę išskirtinių signalų vertę.

IŠVADOS

Atlikus atsakiklio „Garmin GTX330“, vieną iš labiausiai naudojamų atsakiklių bendrosios aviacijos rinkoje, atsakiklio tyrimą, kurio metodika buvo pritaikyta naudojant IFF-701Ti bandymų stendo techninę dokumentaciją, kartu su atsakiklio veikimo vadovais. Sėkmingai atlikti 8 bandymai, kurie suskirstyti į kokybės, signalo sudėties ir patikimumo bandymus. Išanalizavus jų rezultatus (10 skyrius), remiantis literatūros analize, galima apibendrinti gautus duomenis ir sistemos veikimo principų aspektus:

1. Apžvelgiant visų atliktų bandymų duomenis matyti, kad sistema yra itin stabili ir patikima. Visų atliktų bandymų duomenų sumos paklaidos neviršija 1,3 % netikslių signalų. Šie rezultatai parodo, kad ADS-B signalo patikimumo rodiklis yra gerokai didesnis nei įprastų radarų sistemų patikimumas. Dėl abiejų sistemų skirtumų jas palyginti procentinėmis išraiškomis negalima.
2. Iš atsakiklio atsakymo delsos bandymo matyti, kad atsakiklio C režimo metu laikas, išmatuotas tarp atžymos impulsų F1 ir F2, atitinka 20,29 μ s, kai nominali galima paklaida nuo 20 μ s yra $\pm 0.1\mu$ s, o S režimo atveju delsos laikas išmatuotas 8 μ s, toks ir yra nominalus atsakymo delsos laikas. Gauta tiksli teorinė žinutės atsakymo delsos vertė. Taip pat šio bandymo metu išmatuoti impulsų pločiai yra 0,49 μ s, kai nominalus impulso plotis yra 0,5 μ s su galima $\pm 0,1\mu$ s paklaida. Šie rezultatai parodo, jog sudėtingesnis S režimo atsakiklio signalas yra tikslesnis dėl matuojamųjų atskaitos signalo verčių – P1, P2, P3 ir P4.
3. Atlikus atsakiklio diagnostikos signalo bandymus gauti duomenys rodo, kad esant orlaivio dalims tarp bandymų stendo ir atsakiklio komunikacijos signalo, signalo kokybė ir neatsakytų signalų kiekis gali skirtis. Tiesioginio matavimo atveju neatsakytų signalai sudaro ne daugiau kaip 0,14 % visų signalų kiekio, o esant pašaliniams objektams ši vertė gali pakilti iki 1,3 % (tai yra 10 kartų daugiau signalų). Šios neatitikties sprendimo būdas galėtų būti papildomos antenos instaliavimas orlaivio viršutinėje dalyje. Šis būdas sumažintų signalų neatitikimus 10 kartų.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

AEROFLEX, 2004. *IFF Transponder/Interrogator TEST SET IFF-701Ti*. Operation Manual 1002-3501-2PO. JAV: edition 4, 2004 Mar. 4.

Avionik, GmbH. *TRX-1090, ASD-B Receiver Data Port Specification*. 2010. Germany: [Interaktyvus], [Žiūrėta 2012 m. lapkričio 25 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.aeroshop.eu/media/upload/dokumentacija/Garrecht/Garrecht_TRX-1090_dataport_manual.pdf>

Bailey, T. 2005. *ALL About MODE S Transponders*. Avionics news 36: 44 – 49.

Chamlou, R. 2004. *TIS-B: calculation of navigation accuracy category for position and velocity parameters*, USA: 23rd Digital Avionic Systems Conference.

Coistin, A.; Francillon, A. 2010. *Ghost in the Air (traffic): On insecurity of ADS-B protocol and practical attacks on ADS-B devices*, Sophia-Antipolis, France Network and Security department 4: 2 – 6.

Duan, P. 2012. *Transmitting raw GNSS measurements as part of ADS-B: why, how and flight test results*. USA, Ohio university: 31st IEEE/AIAA Digital Avionics Systems Conference (DASC) 1 – 13 p.

EASA, 2012. *Deviation request #81 for ETSO-C112c, (C166a), C166b applicable to Mode S Transponder with ADS-B-Output Capability*. Germany, Cologne: European Aviation Safety Agency C112.

Eurocontrol, 2003. *Principles of Mode S Operation and Interrogator Codes*. Brussels: European Air Traffic Management Programme, Edition 2.3.

Eurocontrol, 2012. *ANNEX to Network Strategy Plan*. Brussels: Network Manager nominated by the European Commission. Eddition November, version 1.

Federal Aviation Administration, 1989. *FAR 43, APPENDIX F: ATC Transponder Test and Inspections*. USA: FAA Amdt. 43 – 31.

FreeFlight, systems, 2009. *ADS-B Background and Definitions* [Interaktyvus] [Žiūrėta 2012 m. lapkričio 25d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.freeflightsystems.com/adsb.htm>>

Garmin Inc. 2003. *GTX™ 330, GTX™ 330D Transponder Maintenance Manual*. Garmin International Inc. Olathe, Kansas USA: P/N 190-00207-05 Rev. B.

Garmin Inc. 2004. *GTX™ 330, GTX™ 330D Transponder Installation Manual*. Garmin International Inc. Olathe, Kansas USA: P/N 190-00207-02 Rev. F.

Garmin Inc. 2008. *GTX™ 330/330D Mode S Transponder Pilot's Guide*. Garmin International Inc. Olathe, Kansas USA: P/N 190-00207-00 Revizija F.

Graham, W. 2010. *Going live*. USA: Aviation Week & Space Technology 22 (4) 46 – 47 p.

ICAO, 2002. *Aeronautical Telecommunications, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Volume IV: Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems* 3 (1).

International Civil Aviation Organization (ICAO). 2011. *ADS-B Implementation and operations guidance document*. ICAO 4.0: 13 – 14.

Kardelis, K. 2002. *Mokslinių tyrimų metodologija ir metodai*. 2-asis pataisymas ir papildytas leidimas. Kaunas: Technika.

Kasnauskienė, G. 2009. *Mokslo tiriamųjų darbų rašymo metodiniai nurodymai magistrams*. Vilnius: TVM leidykla 7 – 10 p.

Kunzi, F. Hansman, J. Modiano, H. 2008. *ADS-B Benefits to general aviation and barriers to implementation, Department of Aeronautics & Astronautics Master thesis*. JAV: Massachusetts Institute of technology: 18 – 20.

Kunzi, F.; Hansman, R. J. 2011. *ADS-B Benefits to general aviation and barriers to implementation, MIT International Center for Air Transportation*. Department of Aeronautics & Astronautics. USA, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

Moody, C. 2000. *System Description for the Universal Access Transceiver*. JAV: Safe Flight-21 8(2): 1 – 4.

Orlando, V. A.; Drouilhet, P.R. 1986. *Mode S Beacon System: Functional Description*. Lincoln Laboratory :Massachusetts Institute of Technology, National technical information service p. 34 – 65.

Pakrijauskas, V.; Rudinskas, D. 2014. *Automatinės Proklauso Stebėjimo Sistemos (ADS-B) Analizė*. Vilnius: Technika.

Paper, W. 2013. *Understanding the Future Air Navigation System (FANS) 1/A Operations and Regulatory Requirements*. Universal Avionics Systems corporation. Doc. No. WHTP-2013-18-10.

Qingzhu, Z.; Jun, Z.; Yanbo, Z. *et al.* 2009. *Navigation Accuracy Caegory – Position Models and Estimation Calculatio for TIS-B System*. Beijing: School of Electronics and informatikon engineering, University of Aeronautics Communication Corporation.

RTCA, 2012. *DO-338 Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) for ADS-B Traffic Surveillance Systems and Applications (ATSSA)*. Europe: RTCA and EUROCAE regulation nr. DO-338.

Rudinskas, D.; Stankūnas, J. 2009. *Bepiločių orlaivių radijo ryšio sistemos analizė, Aviacijos technologijos*. Vilnius: Transporto inžinerija 1 (6) 125-128 p.

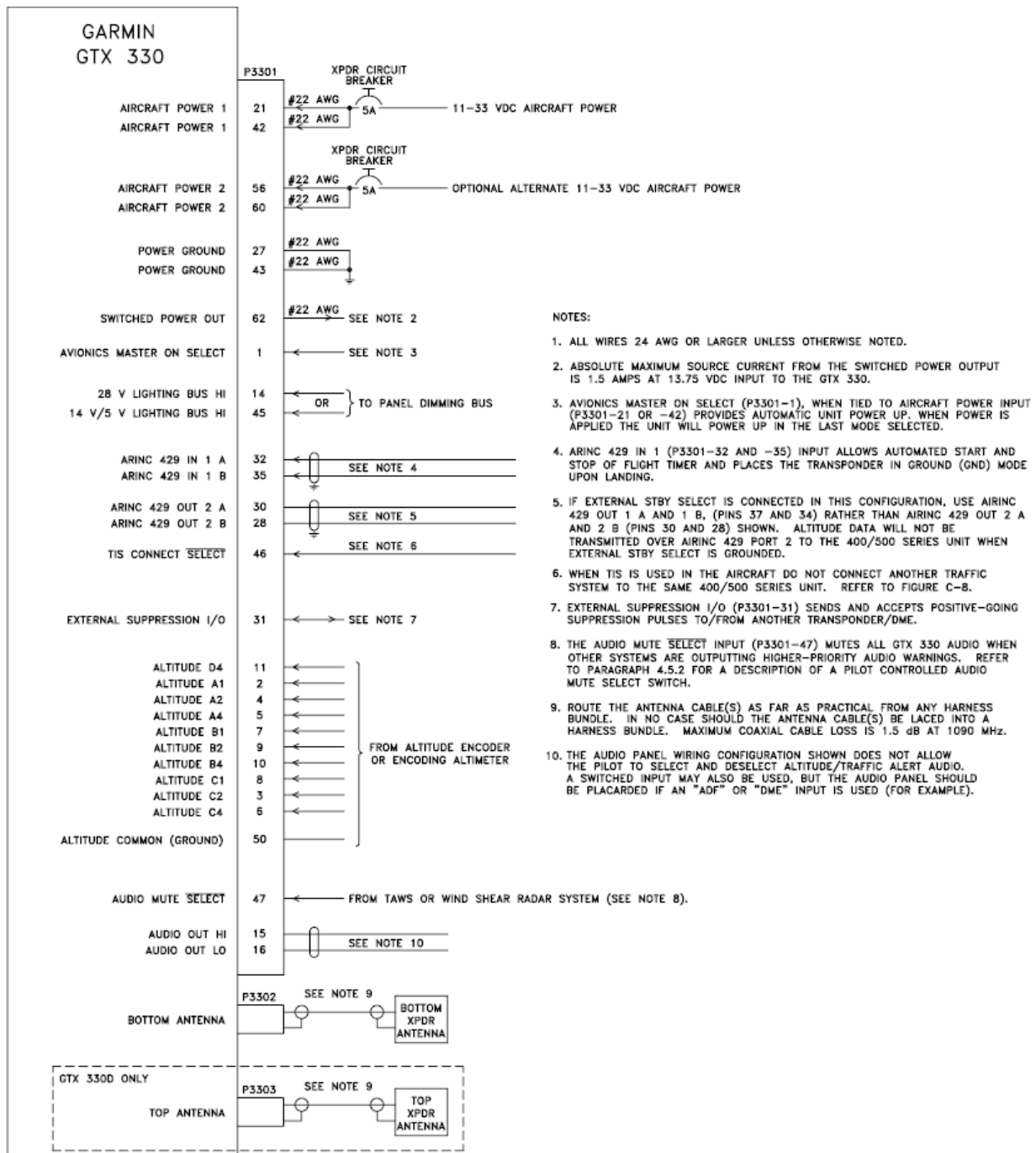
Smith, A.; Cassell, R.; Breen, T. *et al.* 2006. *Methods to provide system-wide ADS-B back-up validation and security*. 25th AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference.

Vigier, C. 2011. *Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B). Surveillance development by Air Traffic Management*. France: AIRBUS 47: 8 – 13.

PRIEDAI

1 PRIEDAS

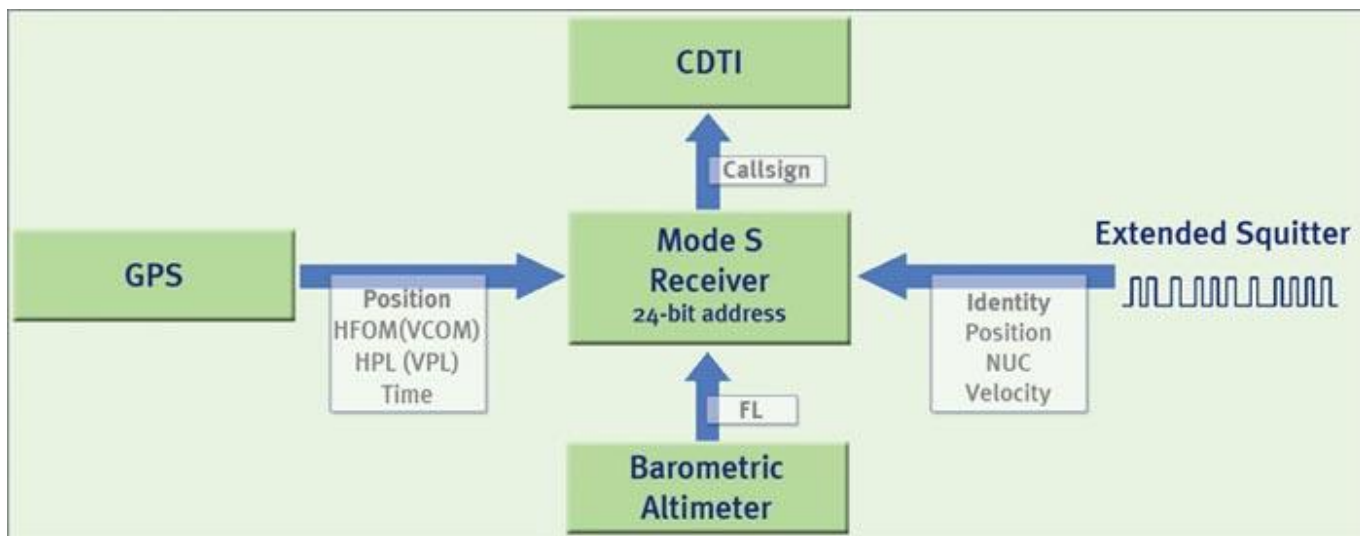
1 priedas. Atsakiklio “Garmin GTX 330” elektrinė blokinė schema



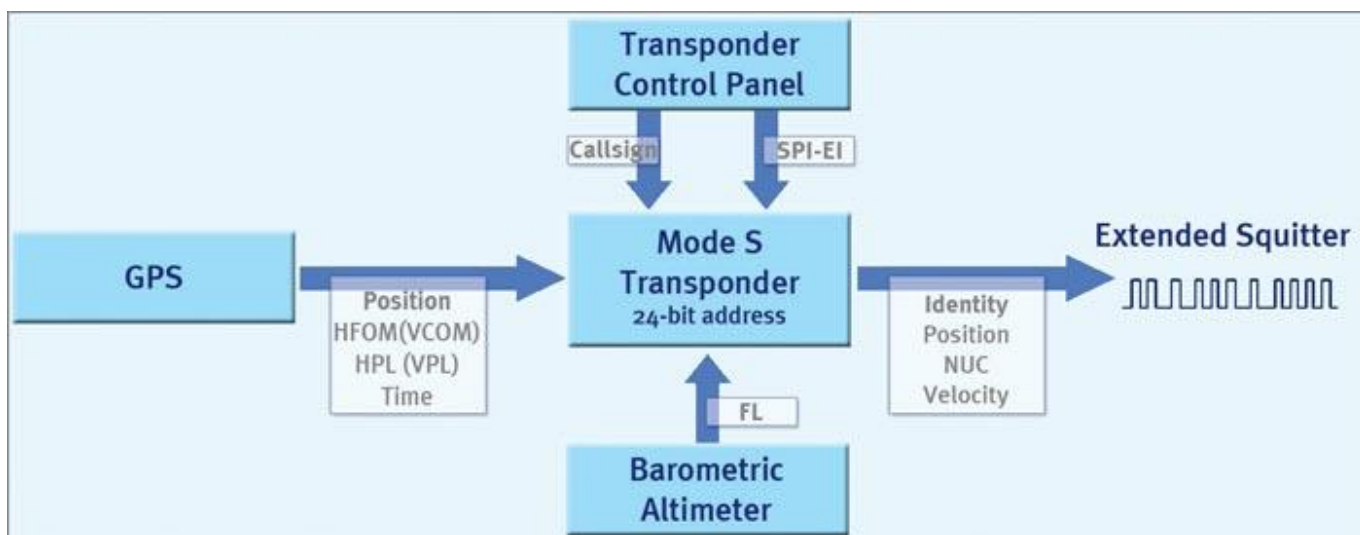
Atsakiklio Garmin GTX330 sąsajos su kitomis orlaivio sistemomis (Garmin 2004)

2 PRIEDAS

2 priedas. S režimo imtuvo / siųstuvo veikimo principo blokinė schema



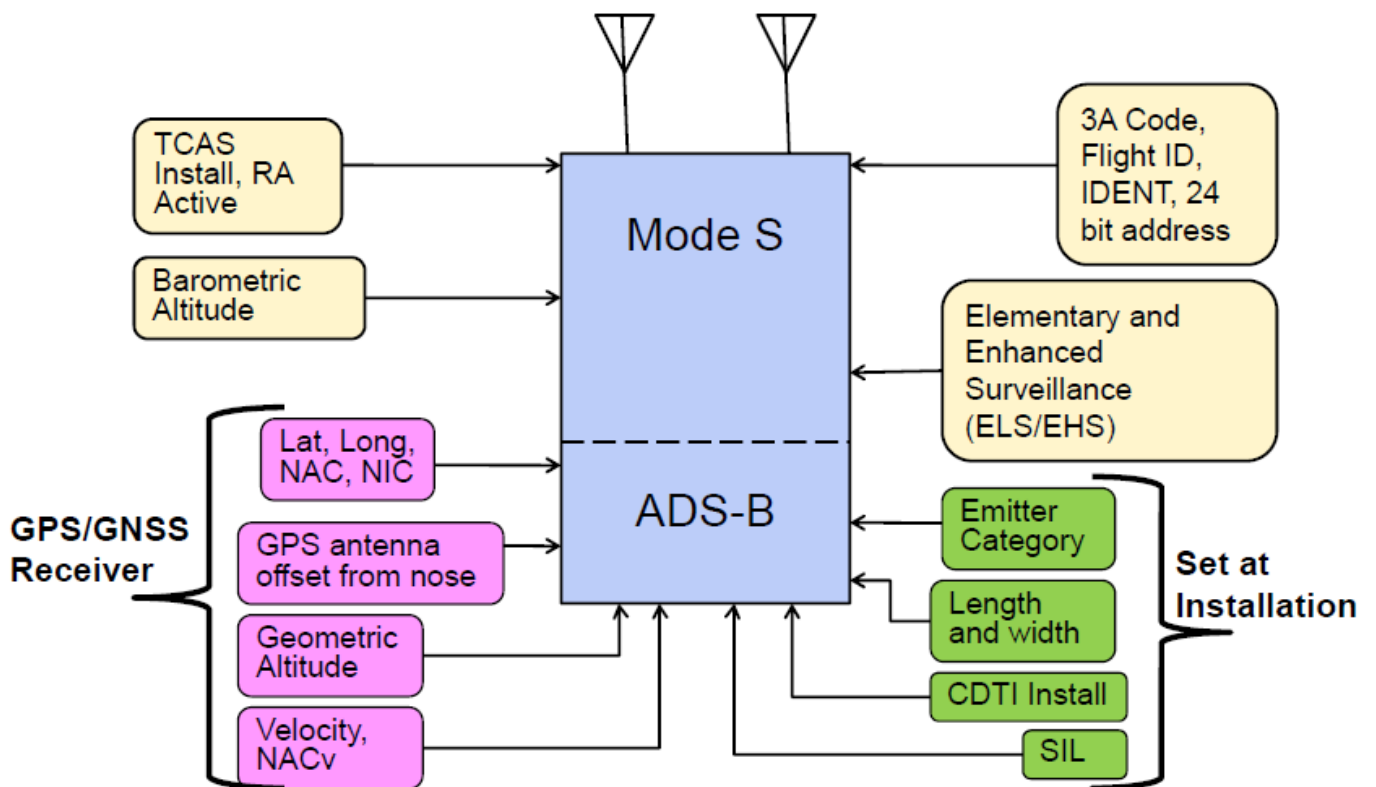
S režimą turinčio atsakiklio imtuvo signal principas – blokinė schema



S režimą turinčio atsakiklio siųstuvo signalo principas – blokinė schema

3 PRIEDAS

3 priedas. ADS-B sistemos integracija su S režimą turinčiu atsakikliu



S režimą turinčio atsakiklio siųstuvo orto įrangos integracija ADS-B sistemoje ir sąsajos su kitomis orlaivio sistemomis