

## **Kvalitet i luftbildet og ADS-B**

Kjetil Mosesen

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

1. september 2011

FFI-rapport 2011/01500

1128

P: ISBN 978-82-464-1947-3

E: ISBN 978-82-464-1948-0

## **Emneord**

Lufttrafikkontroll

Testing

Radar

## **Godkjent av**

Uta Gjertsen

Prosjektleder

Vidar S. Andersen

Avdelingssjef

## Sammendrag

Innenfor FFI-prosjekt 1128 er det definert en aktivitet, *Kvalitet i luftbildet*, hvor hensikten er å utvikle metoder som kan angi om den nasjonale luftovervåkingen oppnår kravene som stilles til løsning av ulike operative oppdrag. Denne rapporten beskriver hvilke muligheter innføring av ny teknologi innen sivil luftfart der flyene selv kringkaster sin posisjon, *Automatic Dependent Surveillance - Broadcast* (ADS-B), har til å forbedre mulighetene til monitorering av Forsvarets luftovervåkings-system fra dag til dag.

Gjennomgang av lovreguleringen av ADS-B innen luftfarten i Europa og de forventede tekniske minimumskravene viser at ADS-B vil være en like god eller bedre referanse enn GPS fra dedikerte testfly. Operativt bedre fordi ADS-B vil ha en mye større dekning fra dag til dag enn det som er mulig med egne fly. Teknisk bedre fordi ADS-B har en veldefinert og tilgjengelig angivelse av nøyaktigheten til både posisjons- og hastighetsmålingen.

En analyse av flytrafikken observert fra Østlandet med Forsvarets ADS-B system viser at allerede dagens ADS-B dekning er velegnet til å beregne de mest nøyaktighetskrevede radarparametere.

## English summary

FFI project 1128 is developing methods for quality assurance of the recognised air picture. The implementation of new technology for aviation where aircrafts are broadcasting their own position, *Automatic Dependent Surveillance - Broadcast* (ADS-B), gives brand new possibilities to achieve continuous quality assurance of air-surveillance systems.

A study of the planned legislations and the recommended minimum technical performance standards shows that ADS-B will be a reference on a level with, or better than, GPS from dedicated test-flights. Operationally better because of the large number of aircrafts available each day. Technically better since ADS-B has a well defined and available measure of position- and speed accuracy.

An analysis of available ADS-B transmitting aircrafts from Southern Norway shows that the coverage and accuracy today is sufficient to estimate even the most accuracy demanding radar parameters.

# Innhold

	<b>Forord</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>9</b>
1.1	Leseveiledning	9
<b>2</b>	<b>Kvalitet i luftbildet</b>	<b>10</b>
2.1	Luftovervåkingssystem	10
2.2	Kvalitetssystem	10
2.3	Forsvarets ADS-B system	11
<b>3</b>	<b>ADS-B</b>	<b>12</b>
3.1	Krav til ADS-B i Europa	12
3.2	Posisjon og tid	13
3.3	Posisjonsnøyaktighet	13
3.4	Hastighet	15
<b>4</b>	<b>Ytelsesparametere</b>	<b>16</b>
4.1	Feilmodell for radar	16
4.2	Potensialet for feilestimering	16
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>18</b>
<b>Appendix A</b>	<b>Kommunikasjonsløsning</b>	<b>20</b>
<b>Appendix B</b>	<b>Datafelter i ASTERIX</b>	<b>21</b>
B.1	Identitet og type	21
B.2	Posisjon	22
B.2.1	Tid	22
B.2.2	Horisontal posisjon	22
B.2.3	Vertikal posisjon	22
B.2.4	Kvalitet på posisjon	23
B.3	Hastighet	24
B.3.1	Tid	24
B.3.2	Geometrisk hastighet	25
B.3.3	Luftrelatert hastighet	25

B.3.4	Vertikal hastighet	25
B.3.5	Kvalitet på hastighet	25
<b>Appendix C</b>	<b>Støymålinger på Mistberget</b>	<b>26</b>

## Forord

Etableringen av delprosjektet *Kvalitet i luftbildet* har sitt utspring i engasjerte og inspirerende møter jeg har hatt med Frode Byrkjeland og Karl Mikkelsen ved PROGSEN. Jeg husker ikke når eller hvordan dette første gang kom på banen, men jeg er helt sikker på at PROGSEN er delprosjektets egentlige opphav. Frode og Karl har vært uvurderlig som tekniske orakel for hele K&V-systemet. Frode har vært en pålitelig motivator og ikke minst en mester i historiefortellinger.

I forbindelse med utplasseringen av ADS-B systemet som FFI anskaffet på vegne av Forsvaret har det vært flere uvurderlige bidragsytere. Lars William Westad ved Forsvarets logistikkorganisasjon (FLO) har bidratt i sene kvelder, helger og ferier med all konfigurasjon og programmering av løsninger for kommunikasjonsinfrastruktur og nødvendig sikkerhet. Atle Olsen ved PROGSEN har bidratt med egenutviklede kretskortløsninger som overvåker og gir livsviktig robusthet til systemet. Karl Mikkelsen og Frode Byrkjeland fikk skrudd sammen nødvendig maskinvare og ikke minst plassert utstyret ut i felten. Også alle involverte i FLO-systemet skal ha en stor takk for all velviljen som er gitt i forbindelse med våre uttallige besøk til ulike link-stasjoner.

Freddy Moland ved Luftoperativt inspektorat (LOI) har ledet arbeidsgruppa med stødig hånd fra Luftforsvarets side og har alltid hatt tillitt til våre forslag. Foruten å bidra i arbeidsgruppa og ute i felten har Ole Ragnar Tandberg ved FLO gitt mange nyttige innspill for å se ADS-B systemet inn i en større sammenheng i forhold til Forsvarets utfordringer. Sammenhenger som åpenbart er relevante i forhold til at prosjektet er underlagt en forsvarsanskaffelse.

Det har vært utrolig givende å ha vært med i denne aktiviteten fra dens oppstart ved FFI. Det har også vært mange frustrerende perioder når deler av Forsvarets ADS-B system har feilet, og mer tid har gått med til feilsøking og retting en opprinnelig tiltenkt. Men slik er det å arbeide med reelle systemer. Jeg vil ikke legge skjul på at det er vemodig å forlate aktiviteten på dette tidspunkt. Det er først nå både Forsvarets ADS-B system og ADS-B teknologien i lufta er i ferd med å bli modent og velutbredt. Det hadde vært utrolig gøy å fått være med å utvikle metodene våre videre fram til ulike demonstratorer for Forsvaret. Nå er jeg trygg på at aktiviteten overlates videre i de beste hender og at Forsvaret vil se nyttige resultater i nærmeste framtid.

FFI 30. august 2011 - Kjetil Mosesen





# 1 Innledning

FFI-prosjekt 1128, *Luftmilitær overvåking II*, støtter Forsvarsdepartementet i utredning av det framtidige behovet for nasjonal luftovervåking. Luftovervåking er en kapasitet som observerer luftrommet over og omkring Norge døgnet rundt. Denne kapasiteten er forutsetningen for at kampfly på beredskap kan utøve suverenitetshevdelse og nasjonal kontroll [5]. Et kampfly som står på bakken har ikke selv evne til å observere trusler i lufta, og er derfor fullstendig avhengig av et varsel fra et luftovervåkingssystem for å vite når og hvor det skal fly.

Innenfor prosjekt 1128 er det definert et delprosjekt *Kvalitet i luftbildet*. Hensikten med delprosjektet er å utvikle metoder som kan angi om den nasjonale luftovervåkingen oppnår kravene som stilles til løsning av ulike operative oppdrag [7]. Metodene er gyldige både for dagens og framtidens luftovervåkingssystemer. Slik sett vil delprosjektet gi bidrag til både det eksisterende systemet og i anskaffelsen av nye sensorer for luftovervåking.

Innføring av ny teknologi innen sivil luftfart der flyene selv kringkaster sin posisjon, *Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B)*, forventes å gi nye og forbedrede muligheter til monitorering av Forsvarets luftovervåkingssystem fra dag til dag. Hensikten med denne rapporten er å etablere hvilke muligheter ADS-B har som referanse i en slik monitorering, og statusen for flytrafikken observert fra Østlandet i dag.

## 1.1 Leseveiledning

Denne rapporten er et forsøk på å gi en helhetlig og overordnet framstilling av statusen for kvalitet i luftbildet. Hoveddelen av rapporten er derfor skrevet uten å gå for mye i tekniske detaljer. Relevante detaljer er tatt med i appendiksene.

I kapittel 2 forklares nærmere hvordan vi definerer kvalitet og betrakter problemstillingen opp mot et luftovervåkingssystem. Kapittel 3 tar for seg både forventninger og dagens status til ADS-B som et referansesystem. Kapittel 4 ser på estimering av enkelte radarparametere ut fra ADS-B data. Det har ikke vært til å unngå å innføre noen ligninger i dette kapitlet og hovedresultatet fra dette kapitlet er tatt med i konklusjonen i kapittel 5.

Appendix A beskriver erfaringer med kommunikasjonsløsningen som ble utviklet for Forsvarets ADS-B system. I Appendix B forklares betydningen av datatyper fra et bakkebasert ADS-B system som er relevante som referanse. Til slutt i Appendix C gjengis en målerapport angående støyproblemer i Forsvarets ADS-B system.

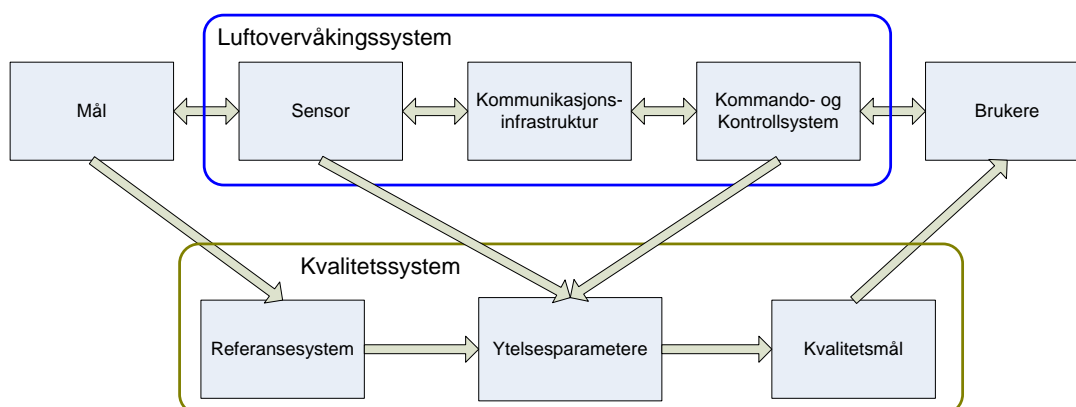
## 2 Kvalitet i luftbildet

Et nasjonalt luftovervåkingssystem er et komplekst system av systemer. Dagens system er realisert med et titalls langtrekkende og middels rekkevidde radarer. I tillegg benyttes informasjon fra sivile systemer slik som Avinor's radarer for sivil lufttrafikk kontroll. I dette kapittelet gis først en skjematisk oppdeling av dataflyten i et luftovervåkingssystem. Deretter forklares hvordan vi definerer *kvalitet* i luftbildet. Til slutt beskrives valg av ADS-B som referansesystem og erfaringer med drift av systemet.

### 2.1 Luftovervåkingssystem

Figur 2.1 viser en skjematisk oppdeling av dataflyten for en av flere datakjeder i et *luftovervåkingssystem*. Fremst i kjeden er en *sensor* som observerer *mål* i lufta. Mål kan være både flygende farkoster og uønskede forstyrrelser slik som refleksjoner fra terreng eller vær.

Mål som sensoren detekterer som flygende farkoster sendes videre i datakjeden over en *kommunikasjonsinfrastruktur* til et *kommando- og kontrollsystem*. Her sammenstilles data fra flere sensorer og det etableres et felles og enhetlig bilde over situasjonen i lufta. Det er viktig å understreke at prosessen med å etablere luftbildet er fullstendig avhengig av menneskelig medvirkning og kontroll.



Figur 2.1 Skjematisk framstilling av dataflyten i et luftovervåkingssystem sammen med et kvalitetssystem. Ytelsesparametere er kvantitative parametere som beregnes ved å sammenstille data fra ulike steder i datakjeden fra luftovervåkingssystemet. Kvalitetsmål kan være både kvalitative og kvantitative mål som framstilles fra ytelsesparametere.

Luftbildet vil så benyttes av *brukere* i løsning av ulike operative oppdrag. Brukere kan både være mennesker slik som jagerflykontrollører, eller andre informasjonssystemer slik som Link 16.

### 2.2 Kvalitetssystem

Enhver vurdering eller test av et luftovervåkingssystem krever en eller annen form for et måleoppsett på relevante steder i datakjeden. Noen typer målinger kan alene benyttes til å gi informasjon om deler av systemet fungerer slik det skal. Eksempelvis kan en for en radar måle at spenningen til strømforsyningen er innenfor de kravene som er spesifisert.

Slike måleoppsett har likevel sin begrensning, da de aldri kan si noe om hvor godt sensoren observerer og posisjonerer flygende farkoster i lufta. For å kunne si noe om luftbildet tilfredstiller kravene som skal til for å løse ulike operative oppgaver er det påkrevd med pålitelige data om minst en, helst flere, flygende farkoster fra et *referansesystem*.

Data fra ulike steder i datakjeden sammenholdes mot data fra referansesystemet i beregning av *ytelsesparametere*. Ytelsesparametere er kvantitative mål som eksempelvis en radars standardavvik i avstandsmålingen. En eller flere ytelsesparametere vil så være grunnlaget for å etablere ulike *kvalitetsmål*. I enkleste forstand kan et kvalitetsmål være en indikator som er grønn når radaren fungerer som den skal, eller være rød når noe er veldig galt.

### 2.3 Forsvarets ADS-B system

I test og evaluering av ulike sensorer for luftovervåking er det en vel etablert metodikk å benytte egne testfly med GPS ombord som referansesystem. Dette er en svært kostnadskreven metode og i praksis gjennomførbart kun et par ganger i året for det antallet sensorer som inngår i dagens luftovervåkingssystem. I tillegg vil det vanligvis være kun en sensor som er under test, og ikke hele luftovervåkingssystemet samtidig.

For å kunne etablere en monitorering fra dag til dag er det derfor nødvendig med et referansesystem som spenner ut hele det nasjonale luftrommet hver eneste dag. I praksis innebærer dette andre overlappende sensorsystemer.

Sivile radarsystemer for kontroll av lufttrafikk er en mulighet som langt på vei tilfredstiller kravene til dekning og kontinuitet i tid. Men siden de også er basert på radarteologi har de det samme problemet med at nøyaktigheten i posisjonsangivelsen reduseres proporsjonalt med avstanden fra radaren. Det er også en begrensning i oppdateringsfrekvensen der kun en radar dekker et område.

Innføringen av ADS-B der flyene kringkaster sin egen posisjon jevnlig med en nøyaktighet tilsvarende GPS eller bedre gir derfor forbedret mulighet som referansesystem. FFI anskaffet derfor på vegne av Forsvaret et ADS-B og *Wide Area Multilateration*<sup>1</sup> (WAM) system fra Comsoft GmbH i 2009. WAM funksjonalitet ble valgt fordi det på tidspunktet for anskaffelsen var et ønske om å kryssjekke de rapporterte ADS-B posisjonene mot en uavhengig måling. Grunnlaget for anskaffelsen og valg av leverandør er beskrevet i [6].

ADS-B sensorene har vist seg å være svært stabile. Ett tilfelle av feil i en analog forsterker er registrert. Ellers er nedetiden for selve sensorene forårsaket av eksterne strømbrudd. Det har vært et problem med for dårlig filtrering av støy i nærliggende frekvensbånd fra nære radiosendere for to siter. En målekampanje ble utført på en av stasjonene og den utarbeidete rapporten er gjengitt i Appendix C. Comsoft kom raskt på banen med en løsning etter å ha mottatt denne rapporten.

---

<sup>1</sup>Multilateration er posisjonering av en radiosender ved å måle differansen i ankomsttiden av det utsende radiosignalet mellom flere geografisk forskjellige utplasserte mottakere.

## 3 ADS-B

På det tidspunktet Forsvarets ADS-B system ble anskaffet hadde vi ikke særlig mer kunnskap om ADS-B enn at teknologien virket lovende som et referansesystem. I dette kapittelet beskrives derfor først hvilken utbredelse ADS-B vil ha i framtidens luftfart. Deretter klargjøres hvilke datatyper som forventes fra systemet, og hvor nøyaktige disse er. Detaljert beskrivelse av datafelter i ADS-B er gitt i Appendix B. Det gis også en status på ulike datafelter utfra opptak fra Forsvarets ADS-B system av all trafikk som kringkastet ADS-B i perioden 8. juni til 20. juni 2011.

### 3.1 Krav til ADS-B i Europa

*Single European Sky* (SES) er et initiativ fra EU tilbake til starten på 2000-tallet med målsetning om en effektivisering og kapasitetsøkning i bruken av europeisk luftrom. Rammeverket for å få medlemslandene til å implementere SES er vedtatt i fire grunnleggende forordninger som sist ble omarbeidet i 2009 og betegnes SES pakke 1 og 2. Norge har også forpliktet seg til å følge krav som kommer av SES ved å gjennomføre forordningene i norsk rett.

Teknologiutviklingen i SES har vært underlagt *SES Air Traffic Management Research* (SESAR). Konsortiet *SESAR Joint Undertaking* (SESAR JU) har utarbeidet en plan, *European ATM Masterplan*, for innføringen av målene med SES hvor ADS-B beskrives som en av nøkkelfunksjonene. Luftfart er som kjent en svært internasjonal bransje og en samstemt utvikling på tvers av kontinentene er på gang.

Det USA-baserte *Radio Technical Commission for Aeronautics* (RTCA<sup>2</sup>) er en frivillig sammenslutning av interessenter som utarbeider anbefalte tekniske retningslinjer innen luftfart. Retningslinjene har forbetegnelsen DO og de fleste speiles gjennom den tilsvarende europeiske organisasjonen *European Organisation for Civil Aviation Equipment* (EUROCAE<sup>3</sup>) i *EUROCAE Documents* (ED).

DO-242 beskriver minstekravene til ADS-B som en *funksjon* ombord på et fly eller bakkeinstallasjon som periodisk kringkaster sin egen posisjon, hastighet og annen informasjon. ADS-B er altså ikke designet for et bestemt formål, men skal understøtte flere *applikasjoner* innen sivil lufttrafikk, slik som antikollisjonssystemer (ACAS) og lufttrafikk kontroll (ATM).

DO-260 beskriver minstekravene til virkemåten av ADS-B over 1090 MHz *Extended Squitter* (1090ES). Utviklingen av ADS-B over 1090ES har pågått i tre steg av de anbefalte retningslinjene: DO-260, DO-260A og DO-260B. Innen SES foreligger et utkast til implementeringsregler *Surveillance Performance and Interoperability Implementing Rules* (SPI IR) som forenklet sagt setter et krav om at alle fly under *instrumented flight rules* (IFR) må ha systemer ombord som tilfredsstillende DO-260B innen 2018.

Opptaket fra Forsvarets ADS-B system viser at av alle kringkastede ADS-B meldinger har kun omtrent 1% implementert utstyr i henhold til DO-260B. Omtrent alt annet er fortsatt i henhold til DO-260. Kun en neglisjerbar del forholder seg til DO-260A.

---

<sup>2</sup>[www.rtca.org](http://www.rtca.org)

<sup>3</sup>[www.eurocae.net](http://www.eurocae.net)

### 3.2 Posisjon og tid

Et absolutt krav til et referansesystem er at det rapporterer en tredimensjonal posisjon med en tidsangivelse. I meldingen<sup>4</sup> fra flyet som oppgir luftbåren posisjon er det felter for geodetisk posisjon i WGS84<sup>5</sup> og høyde. I forhold til beregning av ytelsesparametere er behovet en tredimensjonal posisjon i et statisk og veldefinert koordinatsystem slik som WGS84. Det betyr at vi helst ønsker oss geometrisk høyde. Dessverre er barometrisk høyde en innarbeidet standard for vertikal separasjon av flytrafikk og som forventet rapporterer alle fly kun barometrisk høyde i posisjonsmeldingene.

Derimot er det ikke et eget felt i meldingen fra flyet for tidsangivelse, men en mulighet for å signalere at avsender er synkronisert med UTC<sup>6</sup>. Dersom også mottakende sensorsystem er synkronisert med UTC kan da tiden til posisjonsangivelsen bestemmes til en eksakt verdi i UTC [3, 2.2.3.2.3.5]. Den horisontale posisjonen som sendes fra flyet vil være en framskrivelse av posisjonen til et bestemt helt 200 *ms* tidspunkt [3, 2.2.3.2.3.2]. Av den registrerte flytrafikken rapporterer foreløpig kun 0,2 promille tidsangivelsen eksakt i UTC.

Dersom ADS-B systemet ombord *ikke* er synkronisert med UTC vil den horisontale posisjonen framskrives til antatt tidspunkt for utsendelse av posisjonsmeldingen fra flyet. Antatt tid for utsendelse skal ikke overstige 100 *ms* [3, 2.2.3.2.3.7.3] i forhold til sann tid for utsendelse. Dessverre gjelder dette kun for posisjoner med de to høyeste kvalitetskategoriene<sup>7</sup> for fly som rapporterer i henhold til DO-260 [1, 2.2.3.2.3.7.2].

### 3.3 Posisjonsnøyaktighet

For et referansesystem er det viktig å kjenne til nøyaktigheten til posisjonsangivelsen. Nøyaktigheten er avgjørende for hvilke, og til hvilken presisjon, ytelsesparametere kan beregnes. Siden ADS-B skal benyttes av ulike applikasjoner innen sivil luftfart er det et tilsvarende behov her for å kjenne til posisjonsnøyaktigheten. Flyet sender derfor ut en statusmelding<sup>8</sup> som inneholder posisjonsnøyaktigheten.

Posisjonsnøyaktigheten oppgis i horisontal nøyaktighet *Estimated Position Uncertainty* (EPU) og vertikal nøyaktighet *Vertical Estimated Position Uncertainty* (VEPU). EPU er radiusen til en sirkel med den rapporterte posisjonen som senter hvor sannsynligheten for at den sanne posisjonen ligger utenfor sirkelen er 5%. Tilsvarende er VEPU en vertikal begrensning som angir at sannsynligheten for at den sanne posisjonen ligger utenfor grensen er 5%. VEPU gjelder kun for geometrisk høyde [2, 2.1.2.13].

---

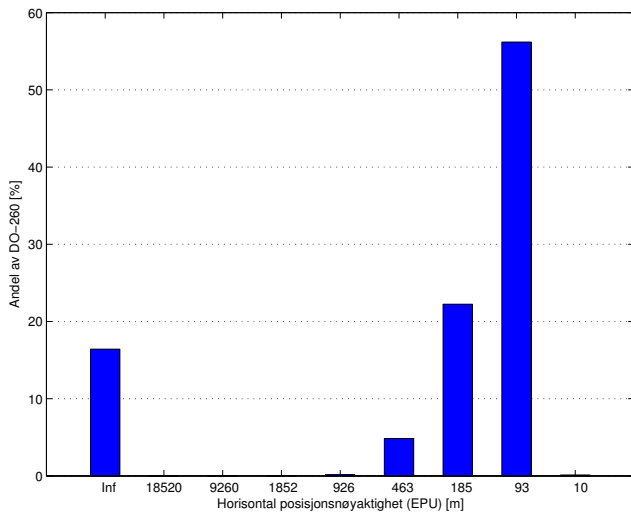
<sup>4</sup>Airborne Position Message

<sup>5</sup>World Geodetic System 84 er et bestemt jord-koordinatsystem.

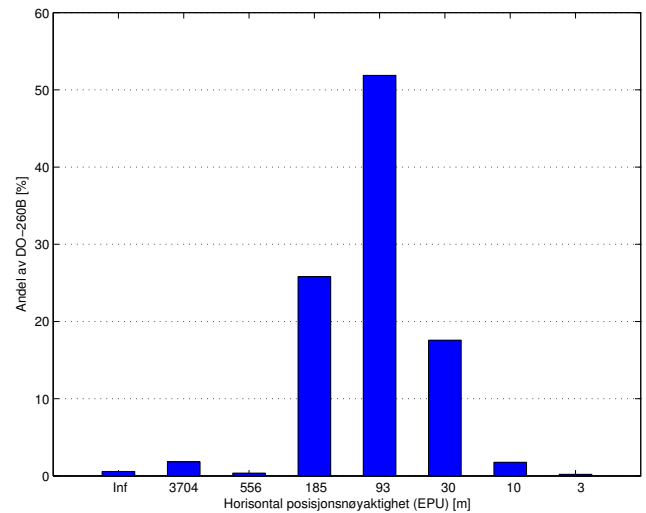
<sup>6</sup>Universal Time Coordinated er en absolutt jord-tidsangivelse som klokker synkront med sekundene til den internasjonale atomtiden.

<sup>7</sup>NUC<sub>p</sub> lik 8 eller 9

<sup>8</sup>Target State and Status Message



Figur 3.1 Fordelingen av horisontal posisjonsnøyaktighet til ADS-B emittere som har implementert DO-260 standarden.



Figur 3.2 Fordelingen av horisontal posisjonsnøyaktighet til ADS-B emittere som har implementert DO-260B standarden.

I figur 3.1 ser vi at de flyene som er utstyrt i henhold til DO-260 så kringkaster omtrent 55% en nøyaktighetskategori som tilsvarer en EPU på 93 m. Tilsvarende viser figur 3.2 at også fly med DO-260B rapporterer halvparten av flyene i denne nøyaktighetskategorien. Her er også kommet en betydelig andel som rapporterer med en EPU som tilsvarer 30 m.

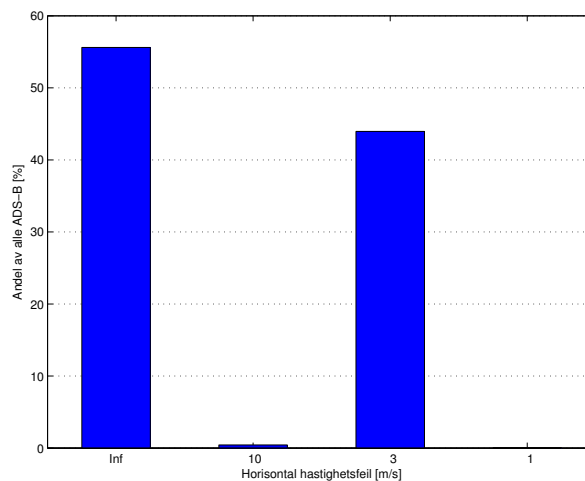
### 3.4 Hastighet

Hastighet er ikke påkrevd informasjon fra et referansesystem, men er svært nyttig tilleggsinformasjon. Spesielt er hastighetsinformasjon nyttig for referansesystemer med unøyaktig posisjonsangivelse eller lav oppdateringsfrekvens. I slike tilfeller vil hastighetsestimering fra tid og posisjon gi et dårlig resultat. I det motsatte tilfellet der en har god hastighetsinformasjon vil dette kunne benyttes til å forbedre posisjonsangivelsen.

Innenfor flyging er luftrelatert hastighet viktig informasjon for piloten, og alle fly har utstyr ombord som kan måle dette. For omgivelsene rundt flyet som har et behov for å kunne beregne flyets bane et stykke inn i framtiden er hastighetsinformasjon relatert til en jord-referanse viktigere. Også fra et referansesystem ønskes det tilsvarende som for posisjon at hastigheten oppgis i et veldefinert og statisk koordinatsystem slik som WGS84. I meldingen<sup>9</sup> fra flyet som oppgir luftbåren hastighet er det felte for å oppgi en tredimensjonal hastighet. Dersom flyet har tilgjengelig geometrisk hastighet så skal denne sendes, dersom ikke sendes luftrelatert hastighet [2, 2.1.2.7].

I den observerte flytrafikken inneholder som forventet 99,6% av rapportene horisontal geometrisk hastighet og 94% vertikal geometrisk hastighet. En liten andel på 2 promille av rapportene inneholder horisontal luftrelatert hastighet og 5,6% av rapportene har vertikal barometrisk hastighet. Resterende er rapporter uten gyldige hastighetsmålinger.

Tilsvarende som for posisjon inneholder hastighetsmeldingen fra flyet også et felt som angir nøyaktigheten til hastighetsmålingen.



Figur 3.3 Fordelingen av nøyaktigheten til hastighetsmålingen fra all observert flytrafikk som kringkaster ADS-B.

Figur 3.3 viser at over 50% av alle ADS-B rapporter ikke angir nøyaktigheten på hastighetsmålingen. Men over 40% av alle rapportene har en nøyaktighet i horisontal hastighetsmåling som er bedre enn 3 m/s.

<sup>9</sup>Airborne Velocity Message

## 4 Ytelsesparametere

Det er utvilsomt beregning av en sensors konstante og tilfeldige feil som gir de strengeste nøyaktighetskravene til referansedata. I dette kapittelet vurderes hvor godt feilparameterene for en radar kan beregnes ved å benytte dagens ADS-B dekning som referansesystem. Det gis først en introduksjon til feilmodell for radar, og deretter oppsummeres den numeriske analysen som er utført for å anslå brukbarheten til ADS-B data.

### 4.1 Feilmodell for radar

Systematiske feil betegnes ofte *bias* og er avvik for et sensorsystem som opptrer likt i hver måling. For et radarsystem har en bias i tid, range, asimut og elevasjon.

For systemer som er synkronisert opp mot en absolutt tid slik som UTC forventes en konstant tidsforskjell  $\delta_t$  mellom målt tid og sann tid. I tilfeller hvor systemet ikke er synkronisert opp mot en absolutt tidsreferanse, men har en frittstående klokke, forventes også et proporsjonalt avvik  $\kappa_t$ . Dette skyldes at klokker i dagens systemer er realisert med en frekvensoscillator som vil ha varierende frekvensavhengig av driftstemperatur.

En radar måler avstanden ved å se på tiden fra den utsendte radarpulsen til mottak av reflektert puls. Tidsmåling baserer seg på en intern frekvensoscillator. På samme måte som ved måling av tid vil da et avvik mellom forventet frekvens på oscillatoren og virkelig frekvens gi utslag i et avvik fra sann avstand  $r_s$  som korrigeres proporsjonalt  $\kappa_r$  med den målte avstanden  $r_m$ . I tillegg kan der være en konstant feil  $\delta_r$  i forhold til når frekvenstilleren starter og stopper i forhold til når radarpulsen virkelig ble sendt og mottatt.

Mellom målt asimut  $a_m$  og sann asimut  $a_s$  forventes en konstant feil  $\delta_a$  forårsaket av et avvik i antatt nord og sann nord. Mellom målt elevasjon  $e_m$  og sann elevasjon  $e_s$  forventes en systematiske feil  $\delta_e$  forårsaket av et avvik mellom antatt horisontalplan og virkelig horisontalplan. Dette gir følgende veletablerte feilmodell for en radar [9, 6].

$$t_s = \kappa_t t_m + \delta_t + \epsilon_t \quad (4.1)$$

$$r_s = \kappa_r r_m + \delta_r + \epsilon_r \quad (4.2)$$

$$a_s = a_m + \delta_a + \epsilon_a \quad (4.3)$$

$$e_s = e_m + \delta_e + \epsilon_e \quad (4.4)$$

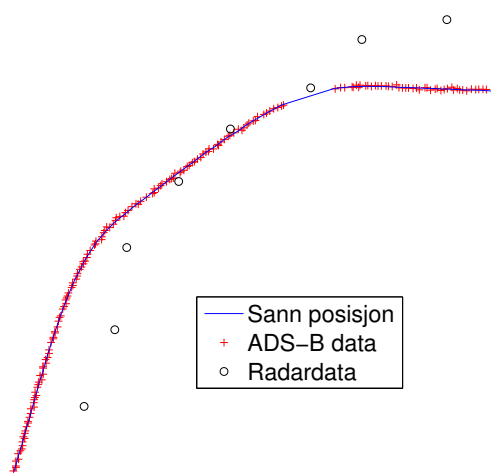
I tillegg til systematiske feil vil enhver måling være befestet med tilfeldige feil  $\epsilon$ . Som oftest antas det at tilfeldige feil følger en normalfordeling og har middelvei lik 0 og standardavvik  $\sigma$ .

For mange radarapplikasjoner er det en absolutt posisjon av radarens observasjoner som kreves. Dette medfører at radarmålingen  $(t_m, r_m, a_m, e_m)$  må transformeres til et annet felles koordinatsystem, som regel et geodetisk system slik som WGS84. En slik transformasjon krever også radarens egen posisjon i dette koordinatsystemet. Avvik i radarens målte posisjon i forhold til sann posisjon vil derfor gi opphav til systematiske feil i posisjonsangivelsen til observasjonene.

### 4.2 Potensialet for feilestimering

For å anslå hvor godt dagens ADS-B trafikk kan benyttes til å estimere de ulike ytelsesparametere i radarens feilmodell er det benyttet en *syntetisering* av de reelle ADS-B dataene for en dag. Syntetiseringen innebærer å glatte ADS-B posisjonene fra flyene og benytte disse som den sanne posisjonen. Deretter etableres målte ADS-B posisjoner og radarposisjoner ved å legge til kjente systematiske og tilfeldige feil slik som vist i figur 4.1.





Figur 4.1 Utdrag av en flyging der sann posisjon er etablert ved en glatting av de virkelige ADS-B observasjonene. Til den sanne posisjonen legges så til kjente systematiske og tilfeldige feil for å generere ADS-B data og radardata.

For ADS-B er det antatt normalfordelt feil som tilsvarer en EPU på 30 m og VEPU på 45 m. Verdiene for radaren er oppgitt i tabell 4.1 og er typiske verdier for en sivil primærradar [8].

$k$	$\kappa_k$	$\delta_k$	$\sigma_k (\epsilon_k)$
$t$		-0,3 s	0,1 s
$r$	0,98	50 m	100 m
$a$		0,1 deg	0,1 deg
$e$		0,2 deg	0,1 deg

Tabell 4.1 Verdiene på systematiske og tilfeldige feil som er benyttet for å generere syntetiske data i henhold til notasjonen i likning (4.1)-(4.4). Tilfeldig feil  $\epsilon_k$  i alle dimensjoner er antatt å være normalfordelt med gjennomsnitt 0 og standardavvik  $\sigma_x$ .

I metoden som benyttes til å estimere de ulike feilparameterne er det antatt et radarsystem som er synkronisert mot UTC. Slik at  $\kappa_t$  er kjent og lik 1. Den eksakte posisjonen til radaren i WGS84 er også kjent. Dette gir fem ukjente parametere for systematiske feil som må løses fra likning (4.1)-(4.4). Dette løses som et femdimensjonalt minimumsproblem hvor summen av feilene i radarens koordinatsystem er minimumsfunksjonen. Metoden benytter også en nedre og øvre grense på tillatte verdier av feilparameterne. Samt at det legges en begrensning på estimert tilfeldig feil for de løsningene som er gyldige.

Tabell 4.2 oppsummerer de estimerte feilparameterne sammen med den relative feilen i forhold til de sanne verdiene oppgitt i tabell 4.1. Minimumsmetoden estimerer alle parameterne utenom bias i elevasjon rimelig godt. Hvorfor bias i elevasjon får en rimelig stor relativ feil krever en mer detaljert gjennomgang av de flygingene som benyttes til beregningen.

$k$	$\kappa_k$	$\delta_k$	$\sigma_k (\epsilon_k)$
$t$		-0,26 s (14%)	
$r$	0,98003 (0,3%)	48,6 m (3%)	106 m (6%)
$a$		0,092 deg (8%)	0,103 deg (3%)
$e$		0,11 deg (46%)	0,1005 deg (0,5%)

Tabell 4.2 Verdiene på estimerte systematiske og tilfeldige feil i likning (4.1)-(4.4) utfra løsningen av et minimumsproblem. Tallene i parentes angir den relative feilen i prosent i forhold til de sanne feilparameterne oppgitt i tabell 4.1.

## 5 Konklusjon

I løpet av de nærmeste årene vil ADS-B være et krav ombord på alle fly tilsvarende Mode A/C transponderen har vært det i et halvt århundre. ADS-B vil derfor også bli en påkrevd funksjon for militære fly som skal operere i sivil luftrom. Den geografiske utbredelsen og hyppigheten som observeres allerede i dag vil derfor bare vokse. Gjennomgang av standardene og observasjoner av reell flytrafikk viser at ADS-B vil være et referansesystem som er tilsvarende eller bedre enn GPS-data fra dedikerte testfly. Bedre fordi ADS-B oppgir en veldefinert nøyaktighet til posisjonsangivelsen. En slik nøyaktighetsangivelse er noe vi slett ikke får fra alle systemer.

Majoriteten av dagens observerte trafikk oppgir en horisontal nøyaktighet på 93 m. Dette er forventet nøyaktighet med GPS hvor *Selective Availability* (SA) er påslått. SA var opprinnelig en ekstra tidsfeil lagt på GPS-signalet som var allment tilgjengelig. Sivile mottakere fikk derfor en dårligere posisjonsnøyaktighet (ca 100 m) i forhold til militære som hadde tilgang på kryptonøkkelen som fjernet denne pseudorandom støyen. Kodingen ble avslått 1. mai 2000 og USA gir uttrykk for at den aldri vil bli aktivert igjen. Siden det tar lang tid å oppdatere fly med nytt avionikkutstyr skyldes trolig den lave andelen som rapporterer med forventet nøyaktighet for dagens sivile GPS mottakere at disse flyene ikke har en GPS mottaker som kan registrere at SA er avslått<sup>10</sup>. Den reelle posisjonsnøyaktigheten er derfor antakelig bedre enn det som mange fly oppgir. I vurderingen av hvor godt feilparameter for en radar kan beregnes ble det antatt en posisjonsnøyaktighet for ADS-B som tilsvarer at SA er avslått. Resultatet viser at ADS-B er velegnet som et referansesystem til estimering av systematiske og tilfeldige feil for radarsystemer.

Etterhvert som ADS-B blir benyttet operativt forventes det at størsteparten av flyene vil rapportere en nøyaktighet i posisjonen som tilsvarer at SA er avslått eller bedre. Bedre fordi det forventes at også *European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS)<sup>11</sup> vil bli benyttet til å forbedre nøyaktigheten til posisjonen. EGNOS er et *satellite based augmentation system* (SBAS) som benytter et sett av bakkestasjoner til å måle forstyrrelsen av GPS signalet i ionosfæren, og deretter kringkaste korreksjonen over en geostasjonær satellitt-link. I tillegg vil andre GNSS systemer slik som GLONASS og Galileo kunne forbedre posisjonsangivelsen i framtiden, og fortrinnet som fly utstyrt med den militære versjonen av GPS har i dag vil forsvinne.

En gjenstående usikkerhet utfra dagens observasjoner er om flyene vil rapportere geometrisk høyde. Det forventes at flyene også vil oppgi geometrisk høyde siden DO-242A angir at både barometrisk og geometrisk høyde skal rapporteres. Trolig vil flyene tilfredsstillende dette kravet ved å benytte et datafelt i den luftbårne hastighetsmeldingen som angir differansen mellom barometrisk høyde og geometrisk høyde [3, 2.2.3.2.6.1.15].

En mangel med ADS-B som referansesystem er at det ikke sendes informasjon som direkte orienterer<sup>12</sup> flykroppen i en gitt posisjon. Spesielt for ytelsesparametere som anslår følsomheten til en radar vil dette være nyttig informasjon.

---

<sup>10</sup>SA Aware GPS Receiver

<sup>11</sup>Tilsvarende tjeneste i Nord-Amerika kalles *Wide Area Augmentation System* (WAAS).

<sup>12</sup>Pitch, roll og yaw

## Referanser

- [1] Minimum Operational Performance Standards for 1090MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services - Broadcast (TIS-B). RTCA DO-260, RTCA, Inc, Dec 200.
- [2] Minimum Aviation System Performance Standards For Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B). RTCA DO-242A, RTCA, Inc, June 2002.
- [3] Minimum Operational Performance Standards for 1090MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services - Broadcast (TIS-B). RTCA DO-260B, RTCA, Inc, December 2009.
- [4] Surveillance Data Exchange - Part 12 ADS-B Reports. ASTERIX Category 21 2.1, European Organization for the Safety of Air Navigation, May 2011.
- [5] Luftforsvarsstaben. Luftmaktvisjon 2025. Luftforsvaret, 2006.
- [6] Kjetil Mosesen. Bakgrunn og leverandørvalg for utprøving av ADS-B. Notat 2008/02188, Forsvarets forskningsinstitutt, November 2008. BEGRENSET.
- [7] Kjetil Mosesen. (U) Kvalitet i luftbildet - mandat. Notat 2009/01986, Forsvarets forskningsinstitutt, November 2009. BEGRENSET.
- [8] International Civil Aviation Organization. Manual on testing of radio navigation aids, Volume III, Testing of Surveillance Radar Systems. Manual, 1998.
- [9] Radar Sensor Performance Analysis. Manual, European Organization for the Safety of Air Navigation, June 1997.

## Appendix A Kommunikasjonsløsning

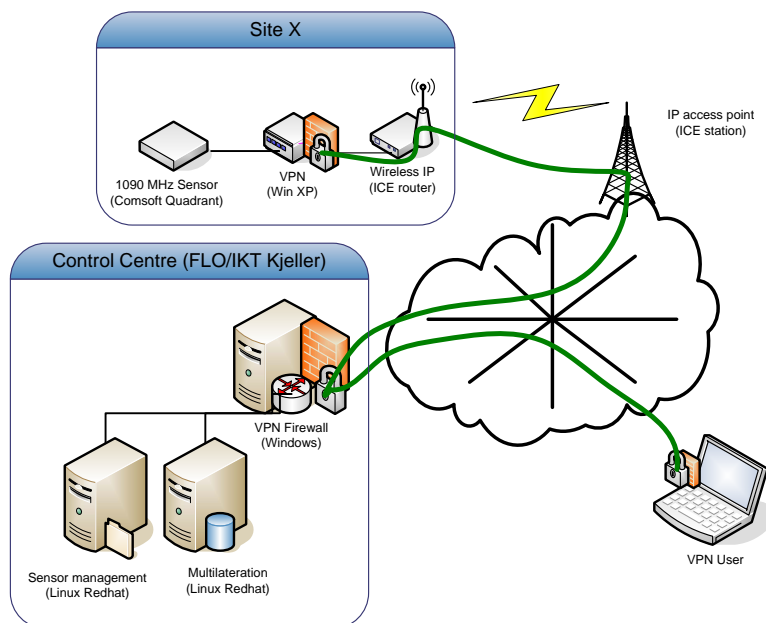
For rask og fleksibel utplassering av de fire sensorene som inngår i systemet ble det valgt å benytte sivilt mobilt Internett. En evaluering av dekning fra ulike leverandører i aktuelle områder medførte at valget falt på ICE<sup>13</sup>. Siden sensorene da ble tilgjengelig på Internett ble det valgt å kryptere datakommunikasjonen med Microsoft Windows sin proprietære protokoll PPTP<sup>14</sup>.

For å realisere kryptoforbindelsen ble det mellom ICE-modem og ADS-B sensor satt inn en mini industri-PC med Windows XP slik som vist i figur A.1. Windows maskina måtte derfor også rute IP trafikk fra ADS-B sensor og videre i VPN tunnelen. Erfaringene med Windows XP i denne konfigurasjonen er ikke udelt positive. Etter utplassering i felt har det vært flere tilfeller hvor systemet har falt ut fordi Windows XP ikke klarte å restarte etter en oppgradering. Innstillingene i brannmuren til Windows XP har heller ikke vært stabile over tid.

Det har også vært utfall som skyldes at ICE-modem har hengt seg opp. For å løse dette problemet ble det utviklet et rele som kunne ta strømmen til modemmet når Windows XP merket at den ikke lenger hadde forbindelse med Windows server. Etter innføring av denne løsningen ble oppetiden til systemet merkbart bedre.

<sup>13</sup>[www.ice.no](http://www.ice.no)

<sup>14</sup>Point to Point Tunneling Protocol



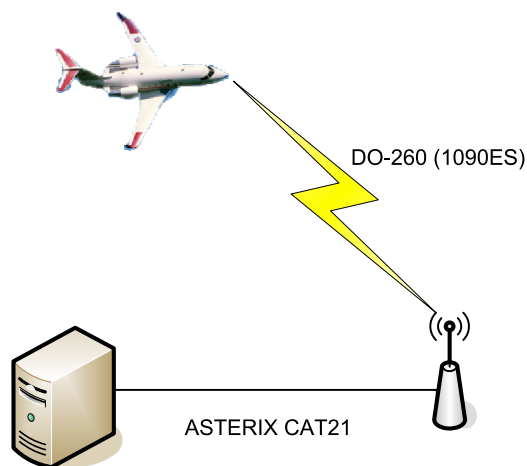
Figur A.1 Hovedkomponentene i Forsvarets ADS-B/WAM system. Hver stasjon er utstyrt med en Comsoft Quadrant ADS-B sensor, en industri-PC som kjører Windows XP (Win XP) og et D35 ICE-modem (ICE router). Windows XP realiserer en VPN forbindelse til en Windows server lokalisert hos FLO/IKT på Kjeller.

## Appendix B Datafelter i ASTERIX

I Europa er det den sivile organisasjonen EUROCONTROL som tradisjonelt har koordinert standardisering og gjennomføring av sivil lufttrafikk. EUROCONTROL har utviklet en hel familie av protokoller for utveksling av luftdata som betegnes ASTERIX<sup>15</sup>. Standarden for bakkesensorer som mottar og utveksler ADS-B har betegnelsen *Category 21* (CAT21) og er også den protokollen som utsendes fra Forsvarets ADS-B system.

Hensikten med dette kapittelet er å beskrive datafelter i CAT21 som er relevante i et referansesystem. Dette krever en gjennomgang av tre ulike dokumenter, hvor DO-242 og DO-260 er kort beskrevet i kapittel 3.1. Plasseringen av CAT21 og DO-260 er illustrert i figur B.1. CAT21 datafelter er markert med følgende font.

DO-242 strukturerer forskjellige datatyper i rapport-typer og sier at alle transmitterende deltakere må kringkaste minstekravet for *Surveillance State Vector Report* (SV) og *Mode-Status Report* (MS) [2, 3.4.1]. I realiseringen over 1090ES defineres i tillegg rapport-typene *Target State Report* (TSR) og *Air Referenced Velocity Report* (ARV) [3, 1.2.7].



Figur B.1 Standarden som beskriver utveksling av ADS-B over 1090 MHz Extended Squitter (1090ES) er DO-260(A/B). Det er derfor denne standarden som beskriver informasjonsutvekslingen fra flyene og til Forsvarets ADS-B system. ADS-B sensorene på bakken dekode og omorganiserer meldingene fra flyet og utveksler denne informasjonen til andre bakkesystemer etter EUROCONTROLs ASTERIX Category 21 (CAT21).

### B.1 Identitet og type

Det er flere datafelter som angir forskjellige typer individinformasjon om hvert enkelt fly. Den mest individtilknyttede er flyets *Mode S adresse* som er en unik identifikator som følger et bestemt skrog gjennom hele dets levetid. Mode S adressen oppgis i datafeltet 080 Target Address, og kan benyttes til oppslag i databaser<sup>16</sup> for å finne ut både flytype, eierforhold mm.

<sup>15</sup>All purpose STructured Eurocontrol suRveillance Information Exchange

<sup>16</sup>Eksempelvis den åpne databasen [www.airframes.org](http://www.airframes.org)

I datafeltet 020 *Emitter Category* vil det oppgis hvilken kategori flyet tilhører. Dette er kun innført på fly som følger DO-260B standarden. I forhold til sammenlikning mot radardata er 070 *Mode 3/A Code* nyttig for å direkte kunne relatere ADS-B posisjoner mot sekundærplot eller kombinerte plot. I feltet 170 *Target Identification* sendes *callsign* for flyet/flygingen. Feltet 210 *MOPS Version* angir hvilken versjon av DO-260 standarden som er implementert på flyet.

## B.2 Posisjon

Den tredimensjonale posisjonen sendes fra flyet i *Airborne Position Message* og benevnes videre som *posisjonsmeldingen*. Det er et krav at registrene ombord på flyet som holder informasjon om posisjonen fra navigasjonssystemet skal oppdateres minst hvert 200 *ms* [3, 2.2.3.2.3.7.3].

### B.2.1 Tid

Posisjonsmeldingen fra flyet har ikke et eget felt for tid. Mottakende sensorsystem kan likevel angi tiden til posisjonen til en eksakt verdi i UTC. Dette forutsetter at både avsender og mottaker er synkronisert med UTC [3, 2.2.3.2.3.5]. Posisjonen som sendes fra flyet vil være en framskrivelse av posisjonen i tid basert på hastighet til et bestemt helt 200 *ms* tidspunkt [3, 2.2.3.2.3.2]. Eksakt UTC sendes i feltet 071 *Time of Applicability for Position* av mottakende ADS-B delsystem.

Dersom avsender *ikke* er synkronisert med UTC vil posisjonen framskrives så nært som mulig antatt tidspunkt for transmisjon. Antatt tid for transmisjon skal ikke overstige 100 *ms* i forhold til sann tid for transmisjon [3, 2.2.3.2.3.7.3]. Mottakende ADS-B delsystem registrerer i forhold til sin egen tidsangivelse tidspunktet for mottatt radiosignal og angir dette ved å sende datafeltet 073 *Time of Message Reception for Position*.

### B.2.2 Horisontal posisjon

Horisontal posisjon relatert til WGS-84 ellipsoiden angis i breddegrad og lengdegrad i enten feltet 130 *Position in WGS-84* eller 131 *Position in WGS-84, High-Resolution*. Dersom sensorsystem er satt opp til å sende feltet 131 sendes som regel ikke feltet 130. Den digitale oppløsningen i feltet 131 tilsvarer omtrent 2 *cm*.

### B.2.3 Vertikal posisjon

Vertikal posisjon basert på flyets barometriske høydemåler angis i 145 *Flight Level*. Den digitale oppløsningen for feltet tilsvarer 25 fot (7,62m). Høyden vil *alltid* være relatert til standard trykk og temperatur. Kapabiliteten til flyets barometriske høydemåler angis i 040 *Target Report Descriptor* i feltet *Altitude Reporting Capability* (ARC) som enten er 25 *ft*, 100 *ft* eller ukjent.

Vertikal posisjon relatert til WGS-84 ellipsoiden angis med feltet 140 *Geometric Height*. Den digitale oppløsningen for feltet er 6,25 *ft* (1,9 *m*). Trolig vil flyene benytte *Difference From Barometric Altitude* i den luftbårne hastighetsmeldingen som angir differansen mellom barometrisk høy-

NIC	Horisontal og vertikal grense
0	$R_C \geq 37,04km (20 nm)$
1	$R_C < 37,04km(20 nm)$
2	$R_C < 14,816km (8 nm)$
3	$R_C < 7,408km (4 nm)$
4	$R_C < 3,704km (2 nm)$
5	$R_C < 1852m (1 nm)$
6	$R_C < 1111,2m (0,6 nm)$
7	$R_C < 370,4m (0,2 nm)$
8	$R_C < 185,2m (0,1 nm)$
9	$R_C < 75m$ og $VPL < 112m$
10	$R_C < 25m$ og $VPL < 37,5m$
11	$R_C < 7,5m$ og $VPL < 11m$

Tabell B.1 Navigation Integrity Categories (NIC) og tilhørende verdier for radiusen til omslutningssirkelen  $R_C$  [2, Table 2-2].

; SIL	Sannsynlighet for at sann posisjon utenfor $R_C$ uten deteksjon
0	Ukjent
1	$10^{-3}$ pr flytime eller pr operasjon
2	$10^{-5}$ pr flytime eller pr operasjon
3	$10^{-7}$ pr flytime eller pr operasjon

Tabell B.2 Surveillance Integrity Level (SIL) og tilhørende verdier for sannsynligheten at den sanne posisjon ligger utenfor radiusen til omslutningssirkelen  $R_C$  uten at det detekteres [2, Table 2-5].

de og geometrisk høyde for å sende geometrisk høyde [3, 2.2.3.2.6.1.15]. Comsoft lover i en epost at *Difference From Barometric Altitude* skal kodes ut i 140 Geometric Height dersom flyet rapporterer differansen i neste oppgradering av Forsvarets ADS-B system<sup>17</sup>.

#### B.2.4 Kvalitet på posisjon

Integriteten til posisjonsangivelsen angis med feltet Navigation Integrity Category (NIC) og Surveillance Integrity Level (SIL) i 090 Quality Indicators. NIC verdien spesifiserer radiusen  $R_C$  til en omslutningssirkel. SIL angir en sannsynlighet for at den sanne posisjonen ligger *utenfor* denne sirkelen uten at det varsles [2, 2.1.2.12]. Det antas at SIL er en statisk verdi for typen posisjonssensor som benyttes og kan skifte kun når en annen kilde for posisjon blir benyttet.

Nøyaktigheten til den gitte posisjonen angis med feltet Navigation Accuracy Categories for Position ( $NAC_p$ ) i 090 Quality Indicators.  $NAC_p$  korresponderer til en horisontal nøyaktighet *Estimated Position Uncertainty* (EPU) og en vertikal nøyaktighet *Vertical Estimated Position Uncertainty* (VEPU). EPU er radiusen til en sirkel med den rapporterte posisjonen som senter hvor sannsynligheten for at den sanne posisjonen ligger utenfor sirkelen er 5%. Tilsvarende er VEPU en vertikal begrensning som angir at sannsynligheten for at den sanne posisjonen ligger utenfor grensen er 5%. VEPU gjelder kun for geometrisk høyde [2, 2.1.2.13].

DO-260 standarden definerer ikke NIC og  $NAC_p$ , men derimot en verdi *Navigation Uncertainty Category for Position* ( $NUC_p$ ) som angir både integritet og nøyaktighet [1, 2.2.8.1.5].

<sup>17</sup>Denne oppgraderingen er planlagt i september 2011

NAC <sub>p</sub>	EPU og VEPU
0	EPU $\geq 18,52km$ (10 nm)
1	EPU $< 18,52km$ (10 nm)
2	EPU $< 7,408km$ (4 nm)
3	EPU $< 3,704km$ (2 nm)
4	EPU $< 1852m$ (1 nm)
5	EPU $< 926m$ (0,5 nm)
6	EPU $< 555,6m$ (0,3 nm)
7	EPU $< 185,2m$ (0,1 nm)
8	EPU $< 92,6m$ (0,05 nm)
9	EPU $< 30m$ og VEPU $< 45m$
10	EPU $< 10m$ og VEPU $< 15m$
11	EPU $< 3m$ og VEPU $< 4m$

Tabell B.3 Navigation Integrity Categories (NAC<sub>p</sub>) og tilhørende verdier for Estimated Position Uncertainty (EPU) og Vertical Estimated Position Uncertainty (VEPU) [2, Table 2-3].

NAC <sub>v</sub>	Horisontal feil (95%)	Vertikal feil (95%)
0	Ukjent eller $\geq 10 m/s$	Ukjent eller $\geq 15,24 m/s$
1	$< 10 m/s$	$< 15,24 m/s$
2	$< 3 m/s$	$< 4,57 m/s$
3	$< 1 m/s$	$< 1,52 m/s$
4	$< 0,3 m/s$	$< 0,46 m/s$

Tabell B.4 Navigation Accuracy Categories for Velocity (NAC<sub>v</sub>) og tilhørende verdier for horisontal og vertikal hastighetsfeil [2, Table 2-4].

Integriteten til barometrisk høyde angis med feltet Navigation Integrity Category for Barometric Altitude (NIC<sub>BARO</sub>) i 090 Quality Indicators. Dette er et flagg som angir om den oppgitte barometriske høyden er kryssjekket mot en annen kilde for trykkmålinger.

### B.3 Hastighet

Der er to typer hastighetsinformasjon; geometrisk- og luftrelatert. Dersom transmitterende system har tilgjengelig geometrisk hastighet så skal denne sendes. Dersom ikke sendes luftrelatert hastighet [2, 2.1.2.7].

#### B.3.1 Tid

ASTERIX standarden tilsier at tilsvarende som for posisjon angis tid for hastighet enten eksakt i UTC med 072 Time of Applicability for Velocity eller usynkronisert med 075 Time of Message Reception for Velocity [4, 4.2]. Derimot er det ikke tilsvarende som for posisjon et TIME bit (T) og et CPR Format bit (F) i Airborne Velocity Message fra flyet for å markere synkronisering mot UTC og par- og odde 200 ms [3, Figure 2-7]. Videre viser standarden bare en måte å dekode tid for hastighet som baseres på mottakende ADS-B delsystems klokke [3, 2.2.8.1.4.3]. Det forventes derfor at kun 075 Time of Message Reception for Velocity vil sendes selv om flyets posisjon er oppgitt i ekstakt UTC tid.



### B.3.2 Geometrisk hastighet

Geometrisk hastighet er relatert til jorda og oppgis vanligvis i forhold til et jord-referansesystem slik som WGS-84. Horisontal geometrisk hastighet angis med feltene `Ground Speed` og `Track Angle` i `160 Ground Vector`.

### B.3.3 Luftrelatert hastighet

Luftrelatert hastighet vil enten være oppgitt direkte fra lufthastighetsmåleren<sup>18</sup> i `150 Air Speed`, eller som målt lufthastighet korrigert for trykk og temperatur i `151 True Airspeed` [3, 2.2.3.2.6.3.8]. Retningen på hastigheten vil enten være mot magnetisk nord oppgitt i `152 Magnetic Heading`, eller sann nord i `TNH`<sup>19</sup> i `Reserved Expansion Field. Heading` har en oppløsning på omtrent  $0,35 \text{ deg}$  [3, 2.2.3.2.6.3.7].

### B.3.4 Vertikal hastighet

Vertikal hastighet vil enten være fra en barometrisk sensor og angitt med `155 Barometric Vertical Rate`, eller fra en geometrisk sensor og angitt med `157 Geometric Vertical Rate` [3, 2.2.3.2.6.1.10]. Vertikal rate har oppløsning  $64 \text{ ft/min}$  [3, 2.2.3.2.6.1.12]

### B.3.5 Kvalitet på hastighet

På samme måte som for posisjon angis nøyaktigheten for den oppgitte hastigheten med feltet `Navigation Accuracy for Velocity (NACv)` i `090 Quality Indicators`. `NACv` angis i forhold til den minst nøyaktige komponenten i horisontal og vertikal hastighet og gjelder ikke for barometriske hastighetsmålinger. Når et treghetsnavigasjonssystem benyttes vil `NACv` være feil i hastighet relatert til WGS-84 ellipsoiden [2, 2.1.2.14].

---

<sup>18</sup>Mest brukt er betegnelsen *Indicated Air Speed* (IAS), men også *Calculated Air Speed* benyttes i [4]

<sup>19</sup>True North Heading

## Appendix C Støymålinger på Mistberget

Målerapport etter målekampanje utført og utarbeidet av Hans Øhra ved FFI.

### Initial measurements at Mistberget.

---

The intention of the measurements was to investigate sensitivity problem of ADS-B receiver at Mistberget.

#### Site description

Mistberget is used by both civil and military, the civilian tower and the ADS-B tower is shown below. The civilian installation is the largest having point-to-point microwave, mobile phone, and high power broadcasting services.



In the same tower as the ADSB-antenna there are microwave links and a narrowband repeater in low VHF-band (40 – 70 MHz), this repeater is used one very few occasions.

#### Measurements

Equipement list:

- 20m RG213 coax cable (1.5 dB loss at 100 MHz and 6 dB at 1090 MHz)
- Handheld spectrum analyzer PSA2701T
- 1090 MHz Filter K&L 4C45 – 1090/T3-0/0 insertion loss 1.6 dB (see attachment)
- DC- block ??

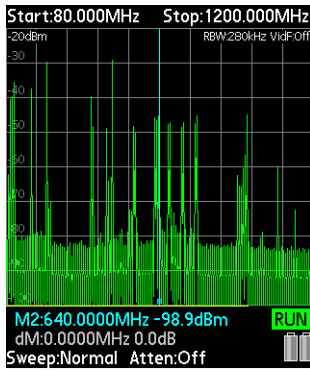
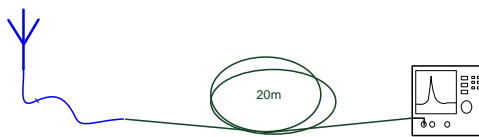
The measurements were done 16<sup>th</sup> April 2010; this day all air traffic was banned due to volcano ash. No aircraft ADS-B activity or SSR replays at 1090 MHz was expected. The SSR transponder at Mistberget answers to SSR mode 1 and 2 every twelfth second when interrogated from the military

radar at Kongsvinger. The zero-span mode did not show any pulses, this was probably caused by missing or misunderstood pulse triggering capability.

During all measurement descriptions in blue indicates original sensor parts.

### Measurement 1

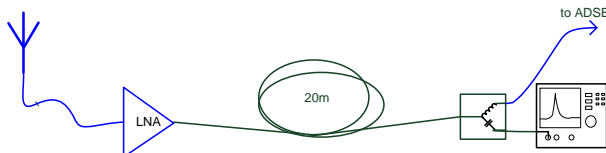
This measurement shows the signal environment (80 – 1200 MHz) at the output from the ADS-B-antenna. There are a large number of high signals from the civilian installation, but no continuous signals were recorded close to 1090 MHz.

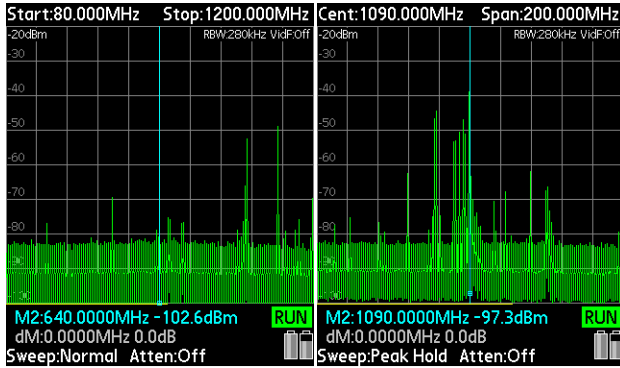


### Measurement 2

In this measurement the LNA of the ADS-B-system was included. The output of the LNA show a great reduction of signal strength at low frequencies, but still some signals are getting trough.

In the vicinity of 1090 MHz an unexpected large number of signal frequencies at considerable levels are identified. From these measurements it is difficult to conclude whether these signals are real signals at the site or intermodulation products caused by the LNA (or spectrum analyzer).





### Measurement 3

The last measurement included a narrowband (10 MHz @ -10 dB) 1090 MHz in front of the LNA. The filter removes almost all signals outside the filter passband.

