

BACHELOR THESIS IN
AERONAUTICAL ENGINEERING
15 CREDITS, BASIC LEVEL 300

Analysis of noise levels, audio frequency and
fuel consumption with propellers of type
McCauley and MT on BAe Jetstream 32



Sammanfattning

Denna rapport beskriver ett examensarbete som genomfördes på Direktflyg i Borlänge under början av 2012, där syftet var att analysera skillnaden i ljudnivå, ljudfrekvens och bränslekonsumtion på flygplanstypen Jetstream 32 efter genomfört byte av propellrar från typen McCauley till typen MT på en av bolagets flygplansindivider. För att genomföra analysen har författarna granskat gällande procedurer angående ljudnivåmätning från styrande luftsäkerhetsorgan för att sedan kunna fastställa passande metoder för utförandet av ljudnivå- samt ljudfrekvensmätningar. Resultaten från ljudnivåmätningarna visar på en lägre ljudnivå över hela kabinen samt betydligt lägre ljudnivå bakom rad 2 vid användning av MT-propellrar jämfört med McCauley. I praktiken innebär detta en lägre upplevd ljudnivå för de flesta passagerare vid en genomsnittlig kabinfaktor. Frekvensmätningarna visar att MT-propellern genererar ljudfrekvenser som uppfattas som lägre i ljudnivå och därav också som behagligare för passagerarna. Bränslekonsumtionen var vidare något lägre vid användande av MT-propellrar jämfört med McCauley över den tidsperiod som innefattades inom arbetet och de begränsande parametrar som fastställdes.

Abstract

This report describes a thesis project conducted at Direktflyg in Borlänge, in early 2012, where the aim was to analyse the difference in noise level, audio frequency and fuel consumption between propellers of the older type McCauley and the newer type MT on the aircraft type BAe Jetstream 32. To perform the analysis, the authors reviewed current procedures regarding noise certification from air safety agencies to be able to identify suitable methods for the noise level and audio frequency measurements. The results of the conducted noise level measurements show a general lower noise level throughout the cabin and a significant reduction in noise level behind row 2 when using the MT propeller compared to the McCauley type. In practice this means a lower perceived noise level for most passengers at an average passenger load factor. The frequency measurements show that the MT propeller generates audio frequencies which are perceived as lower in noise levels and are therefore more comfortable for passengers. The fuel consumption was also slightly lower when using the MT propeller compared to the McCauley type over the assigned time period and the determined limiting parameters.

Datum: 08 mars 2012

Utfört vid: Direktflyg, Borlänge

Handledare vid MDH: Mirko Senkovski

Handledare vid Direktflyg: Ola Bergkvist

Examinator: Tommy Nygren

Förord

Denna rapport utgör examensarbetet som är avslutningen på vår utbildning till högskoleingenjör i flygteknik (på Flygingenjörsprogrammet) vid Mälardalens Högskola (Mdh) i Västerås. Arbetet har utförts på uppdrag av flygbolaget Direktflyg, baserat på Borlänge flygplats. Målet med arbetet var att göra en analys som kunde hjälpa Direktflyg att utvärdera de resultat som fås av ett propellerbyte från typen McCauley till typen MT för att sedan kunna besluta om utbytet är värt att genomföra på resten av flottan, lika mycket som det lärde oss om ljud-/frekvensanalys samt arbete inom en teknisk organisation. Den största hjälpen vi fått inför detta arbete från vår utbildning har varit kunskapen om dokument och regelverk från EASA/ICAO/FAA, beskrivning av en teknisk organisations uppbyggnad, certifieringar samt diverse övningar inom rapportskrivning. Examensarbetet har vi sett som en chans att visa upp kunskaper från studietiden, en övning i att för oss möta nya problem eller uppgifter samt att producera ett så bra resultat som möjligt till uppdragsgivaren.

Västerås, mars 2012

Magnus Andersson

Peter Eriksson

Nomenklatur

ABH	Airborne hours/Flygtid i timmar
BAe	British Aerospace
BLH	Block hours/Blocktid i timmar
BPF	Blade Passage Frequency/Bladpasseringsfrekvens
dB	Decibel
dba	Decibel (A-vägt filter)
DFT	Discrete Fourier transform
EASA	European Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FFT	Fast Fourier transform
FPL	Flygplansindivid
GF	Grundfrekvens
h	Timmar
Hz	Hertz
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEC	International Electrotechnical Commission
kg	Kilogram (viktenhet)
L	Liter (volymenhet)
lbs	Pound (viktenhet)
LLA	Luleå flygplats
m	Meter (längdenhet)
MMX	Malmö flygplats
ORB	Örebro flygplats
PAX	Passagerarantal
rpm	Varv per minut
SDL	Sundsvall-Härnösand flygplats
SEK	Svensk krona (valuta)
STC	Supplemental Type Certificate
wave	Waveform Audio File Format
Ö1	Första övertonen
Ö2	Andra övertonen
Ö3	Tredje övertonen

Innehållsförteckning

1.	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	SYFTE	4
1.3	PROBLEMBESKRIVNING	4
2.	METOD	5
2.1	LJUDNIVÅMÄTNING I KABIN	5
2.2	FREKVENSPANALYS.....	6
2.3	BRÄNSLEBERÄKNING.....	7
3.	RESULTAT	9
3.1	LJUDNIVÅMÄTNING I KABIN.....	9
3.2	FREKVENSPANALYS.....	11
3.2.1	<i>Inledande.....</i>	<i>11</i>
3.2.2	<i>MT-propeller.....</i>	<i>12</i>
3.2.3	<i>McCauley-propeller</i>	<i>13</i>
3.2.4	<i>Jämförelse mellan MT och McCauley</i>	<i>14</i>
3.3	BRÄNSLEBERÄKNING.....	16
3.3.1	<i>Analys av "ofiltrerad data"</i>	<i>16</i>
3.3.2	<i>Analys av "filtrerad data"</i>	<i>21</i>
3.3.3	<i>Kostnadsanalys.....</i>	<i>23</i>
4.	DISKUSSION.....	24
5.	SLUTSATSER.....	26
6.	REKOMMENDATIONER	27
7.	TACK.....	28
8.	REFERENSER	29
9.	BILAGOR.....	30

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Flygbolaget Svenska Direktflyg AB genomförde under december 2011 byte av propellertyp på en av bolagets flygplansindivider (registrering SE-LHE) från en fyrbladig solid aluminiumpropeller från tillverkaren McCauley (se figur 3, 5) till en fembladig kompositpropeller tillverkad av MT-Propeller Entwicklung (se figur 2, 4). Anledningen till bytet var delvis att den underhållsmässigt räknat kan vara billigare i drift per flygtimme, beroende bland annat på hur lång livslängd bladen har, men det fanns också en fundering kring om någon bränslebesparing eller minskning i ljudnivå inuti kabinen kunde ske till följd av byte mellan propellertyperna. Flygplanstypen som bytet skett på är en British Aerospace (BAe) Jetstream 32, ett dubbelmotorigt turbopropflygplan med trycksatt kabin med plats för 19 passagerare. Denna version av Jetstream utvecklades ur Handley Page HP.137 Jetstream, vilken BAe tog över produktionen för 1978. BAes egna version, Jetstream 31, flög första gången 1980 och en motoruppgradering ledde 1988 till Jetstream 32, även kallad "Super 31".¹



Figur 1. BAe Jetstream 32 med propeller från tillverkaren MT

Den tyskproducerade MT (MTV-27-1-E-C-F-R(G)/CFRL250-103) är en fembladig *constant speed propeller*, där propellerns *pitch* (bladvinkel mot luftströmmen) kan ändras, vilket bland annat möjliggör reversering vid landning. Propellern är en kompositkonstruktion med kärna av högkomprimerat trä, överdrag av epoxiglasfiber och en yttre del av aluminium som skyddar mot erosion. Med en ytterdiameter på 2,5m och vikt på 140kg är den ca 30kg lättare än den fyrbladiga, ursprungligt monterade propellern, Dowty Rotol samt propellern av typ McCauley (4HFR34C653/L106FA-0).² Fördelarna med denna propeller är enligt tillverkaren MT bland annat bra vibrationsdämpande egenskaper, obegränsad bladlivslängd (d.v.s. ingen högsta gångtid är bestämd) samt reducerat kabinbuller (upp mot 3-4dBA), utan att kräva motormodifieringar för att utföra ett byte.³

¹ Björnelund et al., 1999

² MT-Propeller, 2012

³ http://www.mt-propeller.com/en/entw/stcs/bae_31.htm (2012-02-26)

Bytet av propellertyp från McCauley till MT faller under beskrivningen *Supplemental Type Certificate* (STC), vilket kräver att ett kompletterande typcertifikat utfärdas. Ett typcertifikat delas ut av styrande flygsäkerhetsorgan när det fastställts att en specifik design uppfyller rådande luftvärdighetskrav samt övriga gällande regler. Typcertifikatet inkluderar vanligtvis typunderlaget, driftbegränsningar och andra begränsningar som föreskrivits av styrande flygsäkerhetsorgan. Ett typcertifikat är grunden för andra godkännanden såsom luftvärdighetsgodkännanden och utfärdas normalt sett för flygkroppen, motorerna samt propellrarna. Alla tillägg, utelämnanden eller ändringar till flygplanets certifierade grundutförande, såsom byte av motor eller propeller, som utförs av någon annan än innehavaren av typcertifikatet själv behöver ett godkänt kompletterande typcertifikat (STC) enligt European Aviation Safety Agency (EASA). Ett STC definierar hur modifieringen påverkar den befintliga typkonstruktionen, identifierar typcertifieringsgrunden samt räknar upp specifika regler att följa för designförändring, vilket är till hjälp för sökande som vill föreslå ytterligare modifieringar på ett befintligt typcertifikat.⁴



Figur 2. Propellerblad av typen MT

Buller inuti turbopropdrivna flygplan orsakas primärt av excitationen av de ostadiga aerodynamiska tryckfält som propellrarna skapar mot flygkroppen. Ljudnivån är vanligtvis högre än i turbofläktdrivna flygplan av jämförbar storlek och ljudspektrumet domineras av toner som inträffar vid integrerade multiplar av den frekvens som propellerbladen passerar flygplanskroppen på (så kallad *blade passage frequency*, BPF). Under längre exponeringstider kan buller och vibrationer orsaka obehag för passagerare och besättning, därav används idag flera typer av brusreduceringsmetoder. Metoderna innefattar exempelvis strukturell modifiering och olika dämpningsbehandlingar samt aktiva metoder som synkronisering av propellrarna (så kallad *synchrophasing*) för att kontrollera antingen det akustiska fältet eller den strukturella överföringsvägen (vibrationer genom flygplanskroppen).⁵ ”Som ett riktvärde gäller att en [...] sänkning av (ljud)nivån med 8–10 dB (upplevs) som en halvering av hörselintrycket. När bullret är utpräglat lågfrekvent gäller inte detta riktvärde utan mindre öknings/minskningar av nivån är tillräckliga för en fördubbling/halvering.”⁶

⁴ EASA, 2003

⁵ Zimcik, 2004

⁶ Johansson, 2002 (s.27)

Av detta framgår att även en mindre ljudnivåförändring kan innebära stora skillnader för passagerare samt besättning under förlängd vistelse i ett turbopropdrivet flygplans kabin, detsamma kan sägas för en minskning av de vibrationer som upplevs däri. Vidare påverkas flygplanet i sin helhet och dess utrustning kontinuerligt av de vibrationer som uppkommer i den normala driften. En minskning av vibrationernas omfattning samt en förändring av deras fördelning i frekvensspektrumet kan medföra att strukturen utsätts för en mindre belastning vilket minskar slitaget på flygplanet i ett större tidsperspektiv.



Figur 3. Propellerblad av typen McCauley



Figur 4. Genomskärning av propellerblad av typen MT



Figur 5. Genomskärning av propellerblad av typen McCauley

1.2 Syfte

Projektet ämnar genomföra en analys av eventuell skillnad i bränslekonsumtion under liknande flygförhållanden, samt därigenom eventuell kostnadsbesparing som ges av att genomföra byte av propellertyp från tillverkaren McCauley till MT på en BAe Jetstream 32 inom flottan. Vidare skall ljudnivåmätningar samt frekvensanalyser genomföras i flygplanets kabin för att påvisa eventuell skillnad i ljudnivåer samt frekvensfördelning mellan typerna, för att tillsammans med bränslekonsumtionsanalysen ge Direktflyg ytterligare underlag till deras beslut angående om bytet skall genomföras på fler flygplan inom deras flotta.

1.3 Problembeskrivning

Arbetet är uppdelat i två delmoment;

Del 1: Analys av skillnad i bränslekonsumtion mellan de två propellertyperna. Här fastställs först vilken data som är nödvändig för att genomföra vidare analys samt metoden för insamling av dessa data. Efter insamlingskeendet kontrolleras erhållen rådata, filtreras och analyseras för att en kostnadsanalys sedan skall kunna göras tillsammans med information om underhållskostnad mellan propellertyperna.

Del 2: Ljudnivåmätningar samt ljudupptagningar i kabinen på Jetstream 32, analys av insamlad data för att påvisa eventuell skillnad i ljudnivå eller frekvensfördelning mellan de två propellertyperna. Före mätningarna utförs, fastställs först ett formulär med vilka mätdata samt vilka intervall som är relevanta för den senare analysen. Mätningarna skall efterfölja dessa bestämda procedurer så gott som det går enligt gällande omständigheter. Efterföljande analys av dessa data sker enligt beskrivna förfaranden under "metod".

2. Metod

2.1 Ljudnivåmätning i Kabin

Ljudnivåmätning i kabinen genomförs under flygning med en decibelmätare av modell TES 1350A⁷ som är certifierad enligt standarden IEC 651 Type 2⁸. Decibelmätaren har en noggrannhet på ± 2 dB och mätningarna genomförs med A-filter (dBA). A-filter är ett så kallat vägningsfilter som används vid ljudnivåmätning, filtret lägger mer vikt på ljud inom vissa frekvensområden och mindre vikt på ljud inom andra frekvensområden. A-filter lägger mest vikt på frekvenser mellan 3-6kHz och undertrycker högfrekventa samt lågfrekventa ljud. A-filter används för att det bättre efterliknar det mänskliga örats känslighet för olika frekvenser och för att den uppmätta decibelnivån bättre ska stämma överens med den, hos människan, uppfattade ljudnivån. A-filtret är det mest använda filtret vid mätning av buller, även riktlinjer från EASA och International Civil Aviation Organization (ICAO) angående bullermätning och flygplans typcertifiering angående ljudnivåer nämner att A-filter ska användas; "The applicable noise requirements for the issue of a type-certificate for an aircraft are prescribed according to the provisions of Chapter 1 of Annex 16, Volume I, Part II to the Chicago Convention"⁹, "The noise evaluation measure shall be a weighted overall sound pressure level as defined in [IEC, 2002]. The weighting applied to each sinusoidal component of the sound pressure shall be given as a function of frequency by the standard reference curve called 'A' "¹⁰.



Figur 6. Ljudnivåmätare av modell TES 1350A

Vid mätning hålls decibelmätaren lodrät med mikrofonen riktad uppåt framför personen som utför mätningen, ungefär mitt mellan den sittandes kropp och sätet framför, med basen av mätaren strax ovanför personens högra knä. Ljudnivåer mäts under olika faser av flygningen, för att fylla i de värden som efterfrågas i formuläret som har tagits fram för detta syfte, "Noise measurement record form" (se bilaga D). Formuläret fylls även i med generell information om den aktuella flygningen; såsom datum, tid, flygplansindividens registrering osv. Första steget i mätningsproceduren är att registrera det maximala decibelvärdet under *take-off*. Denna mätning görs med hjälp av decibelmätarens funktion "MAX HOLD", där den under en av användaren bestämd mätperiod kontinuerligt mäter ljudnivån och visar det högsta uppmätta värdet på mätinstrumentets skärm.

⁷ <http://tes.com.tw/1350a.htm> (2012-02-06)

⁸ IEC, 2002

⁹ EASA, 2003 (s.20, 21A.18)

¹⁰ ICAO, 2008 (s.II-6-1, 6.2)

Denna mätning görs från att flygplanet har börjat accelerera från stillastående på startbanan till att flygplanet har lättat från marken och påbörjat sin stigning. Efter avslutad mätning förs det maximala värdet in under del två i formuläret på raden TAKE OFF. På samma sätt mäts det maximala decibelvärdet under landning samt under fem minuter av *cruise* (då flygplanet befinner sig på sin marschhöjd). Mätningen under landningen påbörjas strax efter att landningsstället fällts ut och avslutas precis före flygplanets sättning. Under flygningens *cruise*-fas görs förutom mätning av maximal decibelnivå även "ögonblicksmätningar" med ca en minuts mellanrum under femton minuters tidsrymd. Ögonblicksmätningarna utförs för att få en tydligare bild över hur ljudnivån i kabinen ser ut och hur den varierar, då det maximala värdet kan påverkas av andra faktorer/engångshändelser som inte påverkar ögonblicksmätningarna i samma utsträckning. Av dessa skäl ger ögonblicksmätningarna bättre genomsnittsvärden på kabinens ljudnivå. Mätningar utförs från tre olika sätesplatser i flygplanets kabin, dessa tre platser är: 2B, 4B samt 6B. Siffran står för sätesraden räknat framifrån och bokstaven avser sätespositionen i den aktuella raden, där säte B är det mellersta sätet (se figur 8).

Ljudnivåmätningarna har utförts vid flygning med flygplansindividerna SE-LHC samt SE-LHE, där SE-LHC är utrustad med McCauley-propellrar och SE-LHE med MT-propellrar. Flygplansindividerna kan i övrigt ses som likadana och har exempelvis likformig tygklädsel över sätena. Samtliga ljudnivåmätningar har utförts under flygningar på sträckan Borlänge-Malmö, med mellanlandning i Örebro, där varje delsträcka har betraktats som en unik flygning, det vill säga att mätningar har utförts på sträckorna Borlänge-Örebro, Örebro-Malmö och de återvändande flygningarna. Ytterligare data som samlas in är väderinformation vid start och landning, mängden passagerare samt hur dessa är fördelade över kabinen. Positionen i flygplanet varifrån mätningarna görs antecknas. Utöver detta görs även anteckningar kontinuerligt under hela flygningen, där eventuella avvikelser, yttre omständigheter m.m. noteras. Alla dessa faktorer vägs sedan in vid analys av mätdata.

2.2 Frekvensanalys

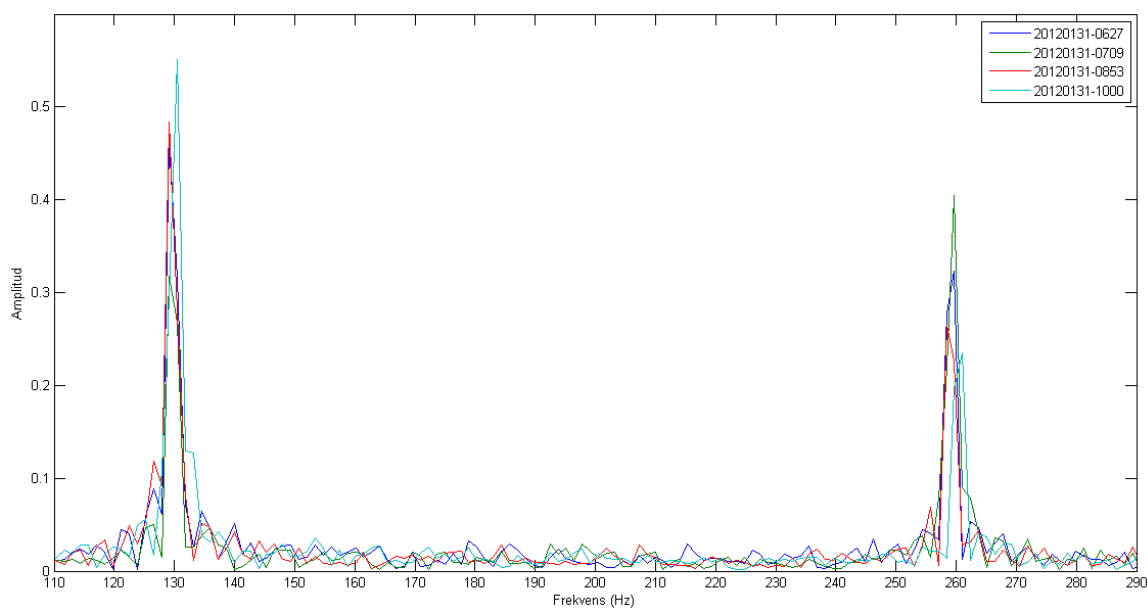
Decibelmätningar utförs för att se om någon av propellertyperna ger upphov till en lägre ljudnivå i kabinen jämfört med den andra propellertypen. Decibelmätningen påvisar hur hög ljudnivån är, inte hur ljudets karaktär är och hur den förändras vid ett propellerbyte, därav genomförs även en frekvensanalys. Frekvensanalysen görs med hjälp av så kallad FFT-analys i datorprogramvaran MATLAB från Mathworks. MATLAB är ett matematiskt beräkningsprogram som kan användas för att utföra numeriska beräkningar, plottning av funktioner, datavisualisering, dataanalys och jämförelse mellan algoritmer i programmets egna gränssnitt eller via programkod skriven av användaren. Beräkningar utförs i regel snabbare än vid användning av mer traditionella programmeringsspråk som C#/C++. Anledningen till dess användning under detta projekt är bland annat möjligheten till att utföra signalbehandling samt signalanalys.¹¹

Fast Fourier Transform (FFT) är en effektiviserad algoritm som används för beräkning av *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT plockar isär en sekvens av data och sorterar den under de ingående frekvenserna. DTF och FFT är mycket viktiga begrepp inom den digitala signalbehandlingen, speciellt den FFT algoritm som togs fram av Cooley och Tukey år 1965. Cooley-Tukeys FFT-metod fångade vetenskap och ingenjörsvärldens uppmärksamhet och banade väg för den digitala signalbehandlingen. Med denna metod kunde problem lösas snabbt, som tidigare inte ens hade ansetts värda att försöka lösa. FFT är en av de viktigaste, om inte den allra viktigaste numeriska algoritmerna inom vetenskap, teknik och tillämpad matematik.^{12 13} MATLAB tar in en ljudfil i *Waveform Audio File Format* (wave) och bearbetar datan med en FFT-algoritm, för att sedan rita upp ett diagram som visar frekvensfördelningen i den ljudfil som analyserades.

¹¹ <http://www.mathworks.se/products/matlab/description1.html> (2012-02-07)

¹² <http://cnx.org/content/col10550/1.21/> (2012-02-07)

¹³ <https://ccrma.stanford.edu/~jos/mdft/mdft.html> (2012-02-07)



Figur 7. Exempel på FFT-analys i MATLAB vid fyra ljudupptagningar med samma propellertyp

I samband med ögonblicksmätningarna av ljudnivån under flygplanets *cruise*-fas spelas kabinljudet in på en digital ljudupptagningsenhet under ca trettio sekunder. Ljudupptagningen utförs från samma position som ljudnivåmätningen med decibelmätaren. Ljudupptagningarna görs under flygning med de flygplansindivider och på de sträckor som beskrivs under kapitel 2.1 (Ljudnivåmätning i kabin), ljudfilen läggs sedan över på en dator och öppnas i en ljudbearbetningsprogramvara. Ur det ca 30 sekunder långa ljudklippet som spelats in under flygning väljs ett intervall på ca 0,5 sekunder ut där ljudnivån är relativt konstant och inga yttre störningar finns, ljudklippet konverteras sedan till wave-format för kompatibilitet med MATLAB, vidare analys sker sedan enligt kapitel 3.2.

2.3 Bränsleberäkning

Analys av bränslekonsumtion har gjorts på flygplansindividen SE-LHE, före samt efter propellerbytet istället för att enbart jämföra två olika flygplansindivider, en med MT-propeller och en med McCauley-propeller. Genom att analysera bränslekonsumtionen hos samma flygplansindivid (SE-LHE) före och efter bytet av propeller har antalet faktorer som kan påverka resultatet minimerats, då förbrukningen mellan olika individer varierar till viss omfattning. Propellerbytet på SE-LHE genomfördes 2011-12-14, de data som används för beräkning av bränslekonsumtion med McCauley-propellern täcker perioden mellan 2011-10-13 till 2011-12-13 och för beräkning på MT-propellern mellan 2011-12-27 till 2012-02-14.

Analys av bränslekonsumtion gjordes även på flygplansindividen SE-LHC med data för perioden 2011-10-03 till 2012-01-17, denna BAe Jetstream 32 har varit utrustad med McCauley-propellrar under hela denna tidsperiod. Bränslekonsumtionsanalysen av SE-LHC görs för att påvisa skillnaden i bränslekonsumtion som finns mellan olika flygplansindivider samt för att visa hur bränslekonsumtionen kan variera under en tidsperiod utan att några modifikationer har införts. Jämförelsen mellan flygplansindividerna i sig beräknas på data från hela perioden för LHC, för LHE används bara data från den period då individen var utrustad med propellrar av typen McCauley, så att erhållen data i detta specifika fall endast gäller skillnad i konsumtion med McCauley-propeller.

De BAe Jetstream 32 som Direktflyg utnyttjar kan ej på elektronisk väg logga den bränslemängd som utnyttjats eller som flödar genom motorn momentant. De data som krävs för beräkning av den genomförda flygningens bränsleåtgång läses av från analoga instrument och skrivs ner i flygplanets loggbok, vilket ger en noggrannhet på bränsleåtgången på 25lbs (11,34kg). Begränsningen i noggrannheten gör resultat med mindre marginaler samt procentuell skillnad något mer osäkra. I genomförandet av projektet kunde dock ingen annan lösning ordnas då Direktflyg skulle störas i sin operation av att eventuellt installera ytterligare utrustning för att ge en förbättrad noggrannhet. Beräkningarna har grundats på mängden förbrukat bränsle samt flygtid och blocktid för flygplansindivid SE-LHE:s flygningar på sträckan Örebro-Malmö (ORB-MMX). Flygtid räknas som den tid flygplanet har varit i luften mellan två destinationer och blocktid är den tid som gått från att motorerna startat till att de har stängts ner vid slutet av flygningen.

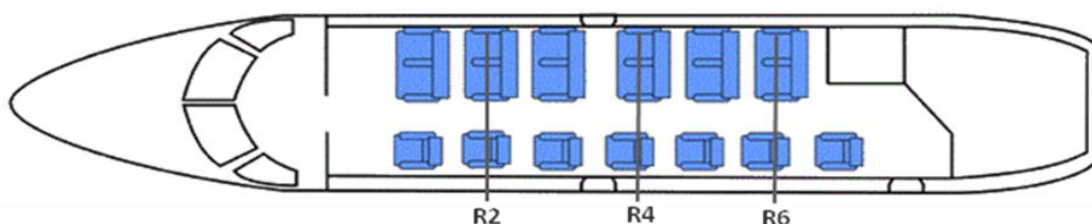
Beräkningarna för SE-LHC har gjorts på data från flygningar mellan Sundsvall-Luleå (SDL-LLA) då SE-LHC inte har gjort tillräckligt många flygningar på sträckan ORB-MMX för att ge den data som krävs för en bra jämförande analys mellan de två individerna för samma sträcka. Flygtiden och bränslekonsumtionen påverkas av ett stort antal variabler som under de givna förutsättningarna för det här projektet är okontrollerbara. För att minska antalet variabler som påverkar resultatet har en separat analys gjorts på de flygningar på sträckan Örebro-Malmö som har tagit mellan 0,9-1,1h i flygtid, maximalt 1,2h i blocktid och transporterat mellan 4-19 passagerare. På liknande sätt har flygningar som SE-LHC utfört på linjen Sundsvall-Luleå valts ut som har utförts under samma förutsättningar. Dessa tider har valts på grund av att de är bland de vanligast förekommande flyg- samt blocktiderna och att stora förändringar i bränslekonsumtion per flygtimme förekommer när data utanför dessa bestämda parametrar inkluderas.

Flygtider, blocktider, passagerarantal för den aktuella flygningen och andra relevanta uppgifter har hämtats ur elektroniska loggar för att sammanföras i Excel-ark tillsammans med information om bränsleåtgång, som har hämtats ur flygplanets loggbok, för möjlighet till vidare bearbetning och analys. Genom att analysera dessa data med tidigare nämnda parametrar fås en minimering av den påverkan som yttre faktorer bidrar till, såsom exempelvis stark mot- eller medvind, lång väntetid på marken innan start/efter landning och stor förändring i passagerarantal. Utöver detta så har det säkerställts att ingen av flygplansindividerna genomgått motorbyte under den aktuella tidsperioden, då ett motorbyte skulle kunna medföra en klar förändring i bränslekonsumtion. Den information som söks genom analysens genomförande är genomsnittlig bränslekonsumtion för de olika propellertyperna, eventuella trender som kan uppfattas i bränslekonsumtionen under den vanliga operationen av flygplanen dels för SE-LHC samt för SE-LHE, eventuell skillnad i flygtid samt bränsleåtgång per flygtimme och passagerarantal.

3. Resultat

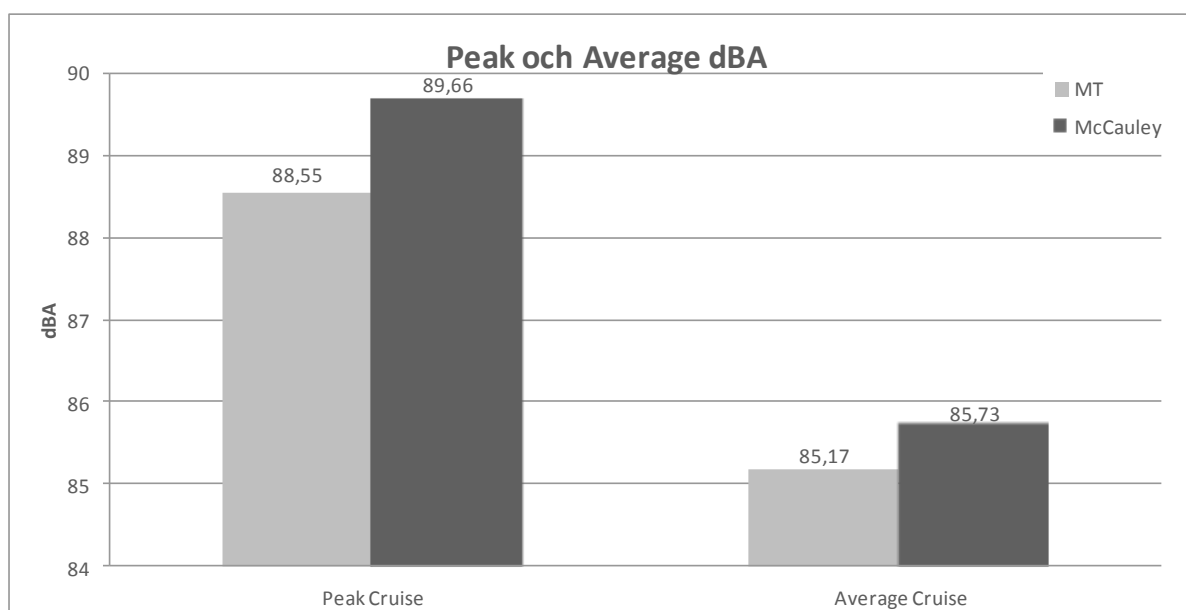
3.1 Ljudnivåmätning i kabin

Ljudnivåmätningar har genomförts i enlighet med beskrivningen under kapitel 2.1 (ljudnivåmätning i kabin). Analysen av förvärvad data från ljudnivåmätningarna består av beräkning av genomsnittliga värden för *Peak Cruise* (maximalt uppmätt värde under en tidsperiod) samt *Average Cruise* (genomsnittsvärde ur en dataserie) över hela flygplanets kabin samt uppdelat på tre av flygplanets rader. Värden på *Max Take Off* samt *Max Landing* kan ses i det utökade diagrammet i bilaga C. För använd rådata från mätningarna, se bilaga E.



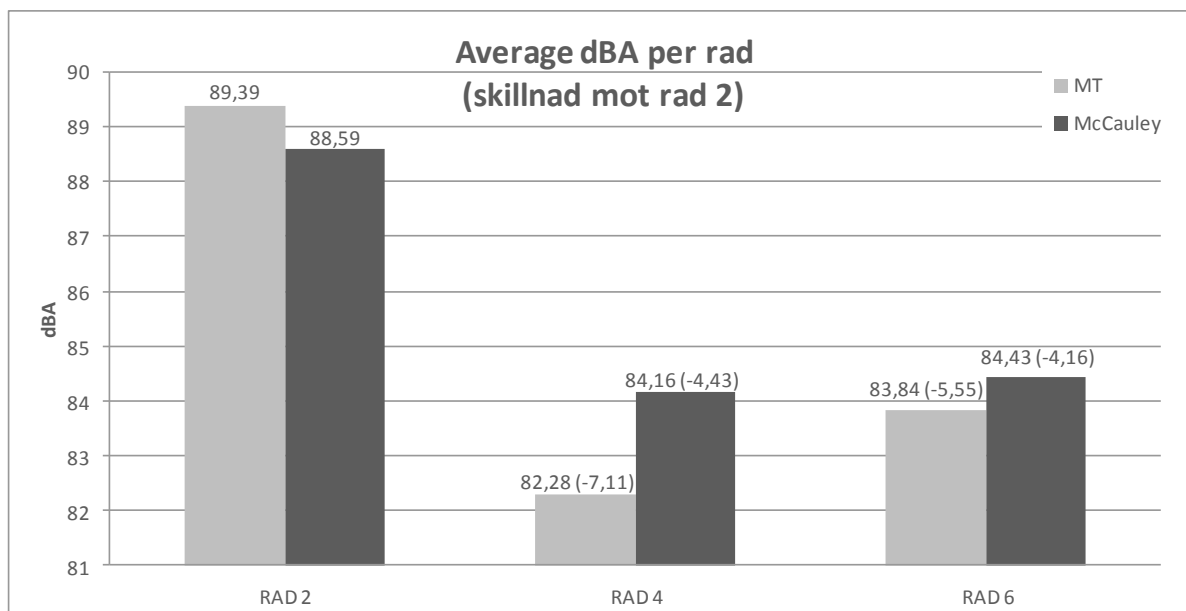
Figur 8. Mätpositioner för de rader som hänvisas till för Jetstream 32

Figur 9 visar på skillnaden i *Peak Cruise* samt *Average Cruise* för de båda propellertyperna. För *Peak Cruise* har ett medelvärde tagits från 12 stycken flygningar för vardera propellertyp, som var jämnt fördelade på de tre rader som anges i Figur 8. Det genomsnittliga värdet på *Average Cruise* togs från samma flygningar. Ett genomsnitt av 13 värden antecknades där med ca en minuts mellanrum under *cruise*-fasen för att sedan kunna ge ett medelvärde per flygning. Passagerarantalet var under mätningarna i snitt 11,33 för MT (SE-LHE) och 12,08 för McCauley (SE-LHC), den största skillnaden i genomsnittligt passagerarantal mellan propellertyperna för en rads mätserie var 3,00. *Peak Cruise* var för alla mätningar alltid några decibel högre än *Average Cruise*, därav visas båda mätmetoderna i följande figurer. Den genomsnittliga skillnaden mellan dem var för MT 3,38dBA och för McCauley 3,93dBA. Skillnaden mellan MT och McCauley för *Peak Cruise* samt *Average Cruise* var 1,11dBA, respektive 0,55dBA, vilket ger fördel för MT sett över hela kabinen.

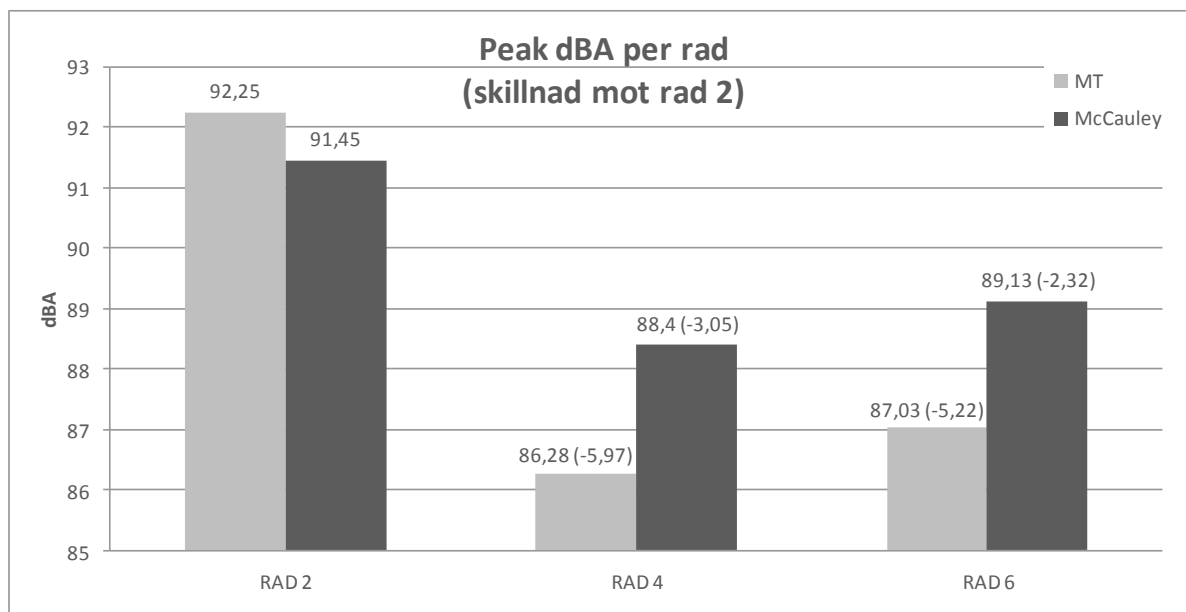


Figur 9. Genomsnittliga värden på *Peak Cruise* samt *Average Cruise* för hela kabinen

Genomsnittliga värden på MT och McCauley sett över hela kabinen ger bara ett grovt medelvärde av ljudnivån som upplevs under flygning, därav visas i figur 10 och 11 det genomsnittliga värdet på ljudnivån som uppmättes på tre olika rader. En rads mätserie motsvarar fyra konsekutiva flygningar, till en destination och tillbaka inklusive mellanlandningar, uppmätta från samma stolsnummer för att ge ett så pass bra medelvärde som möjligt och så gott det går undvika höjningar/sänkningar i den genomsnittliga ljudnivån som aktuella vindstyrkor, vindriktningar, ändringar i flyghöjd osv. ger. Med båda mätmetoderna ligger MT något högre i ljudnivå på rad två och på raderna därefter får McCauley högre värden än MT.



Figur 10. Genomsnittliga värden på *Average Cruise* samt skillnad i ljudnivå mot rad 2



Figur 11. Genomsnittliga värden på *Peak Cruise* samt skillnad i ljudnivå mot rad 2

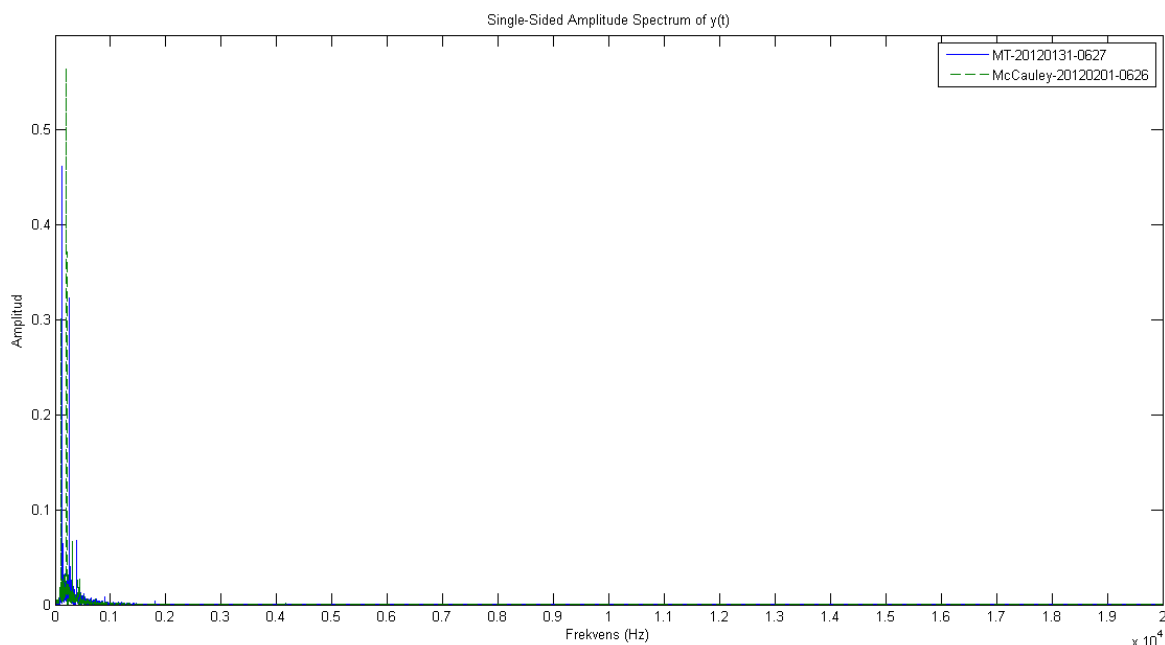
	Rad 2	Rad 4	Rad 6	Hela kabinen
Peak	0,80	-2,03	-2,10	-1,11
Average	0,80	-1,88	-0,58	-0,55

Tabell 1. Genomsnittlig skillnad mellan ljudnivåvärden för MT och McCauley (MT-McCauley)

3.2 Frekvensanalys

3.2.1 Inledande

Efter genomförandet som beskrivs enligt kapitel 2.2 (frekvensanalys), valdes fyra stycken ljudupptagningar från liknande flygförhållanden med vardera propellertyp. FFT-analysen som genomfördes i MATLAB visar på så pass tydliga skillnader mellan de frekvenser som dominerar inuti flygplanets kabin och det allmänna bakgrundbruset att man ur nedan följande grafer kan utläsa frekvenserna som passagerare och besättning utsätts för under flygning. För frekvenser över ca 500Hz kan ej frekvenstoppar längre utläsas för någon av propellertyperna, den allmänna nivån är i storleksordning med bakgrundbruset och merparten av graferna som följer fokuserar därav på frekvenser därunder. Samtliga fyra ljudupptagningar per propellertyp visar på en så pass liten skillnad i frekvenstopparnas placering mellan varandra att frekvensen för dessa kan bestämmas till en noggrannhet av ungefär 0,1Hz i dess analys. Från dessa fyra ljudupptagningar per propellertyp valdes en enskild upptagning ut för att verka som ett medelvärde och kunna agera som en bra visuell jämförelse mellan de två typerna.



Figur 12. En ljudupptagning per propellertyp i frekvensomfånget 0-20.000Hz

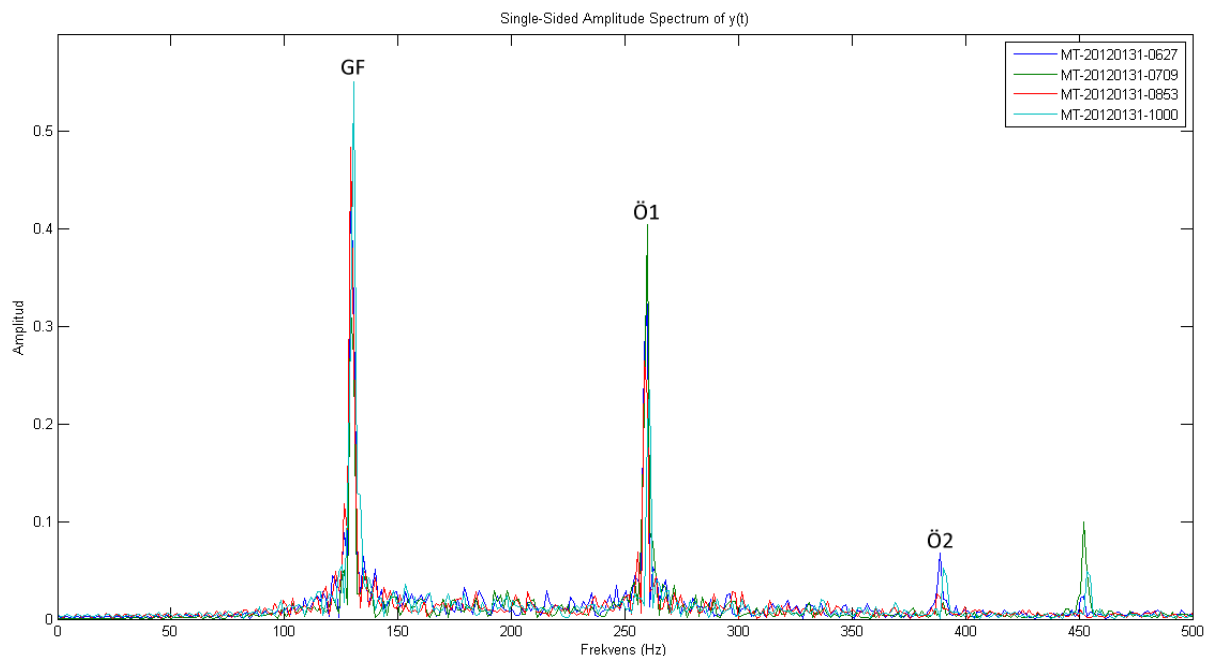
På ett turbopropdrivet flygplan likt Jetstream 32 fininner sig de dominerande frekvenserna som upplevs i kabinen vid multiplar av bladpasseringsfrekvensen (BPF), eller grundfrekvensen där övertonerna följer i multiplar av denna. BPF är definierat enligt ekvation (1) där r =varvtalet (rpm) och n =antalet blad infästa i propellernavet.¹⁴

$$BPF = r \cdot n / 60 \quad (1)$$

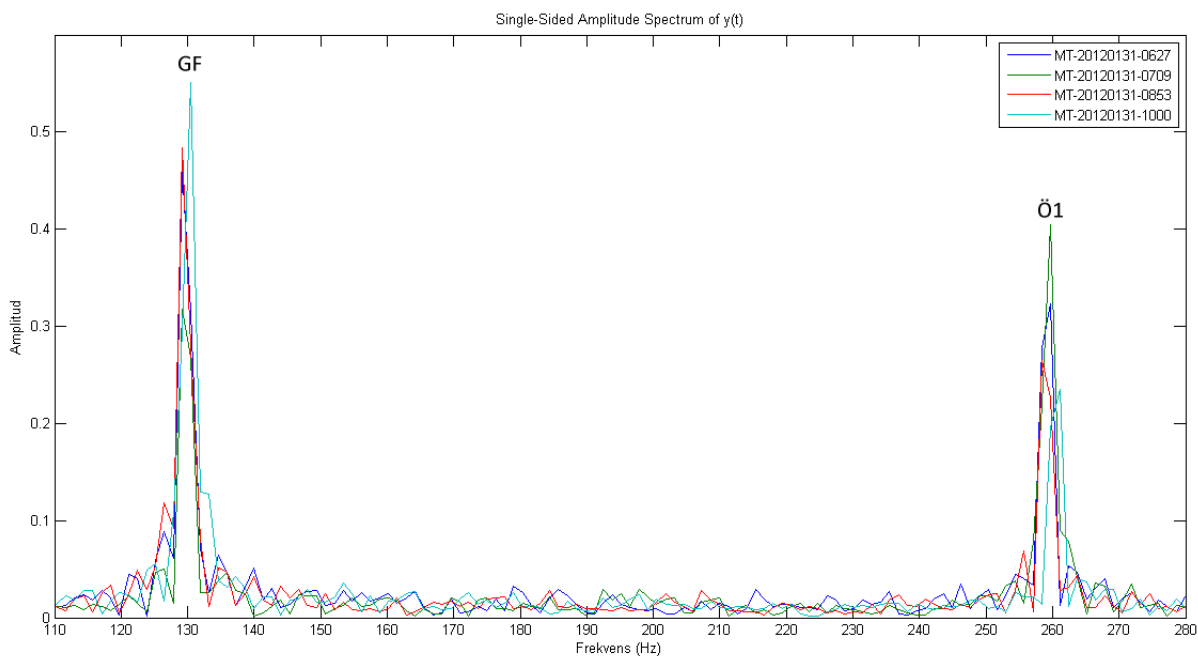
¹⁴ Zimcik, 2004

3.2.2 MT-propeller

För ljudupptagningarna med MT-propellern infinner sig en grundfrekvens (GF) vid 129,2Hz, första övertonen (Ö1) ses vid 258,4Hz (2xGF), den andra övertonen (Ö2) ligger kraftigt lägre i styrka vid 387,6Hz (3xGF) och den tredje övertonen ligger i nivå med bakgrundsbrusets styrka, varav den är utesluten från figur 13. Används ekvation (1) för den fembladiga MT-propellern med grundfrekvensen 129,2Hz som värde för BPF fås ett varvtal på 1550,4rpm.



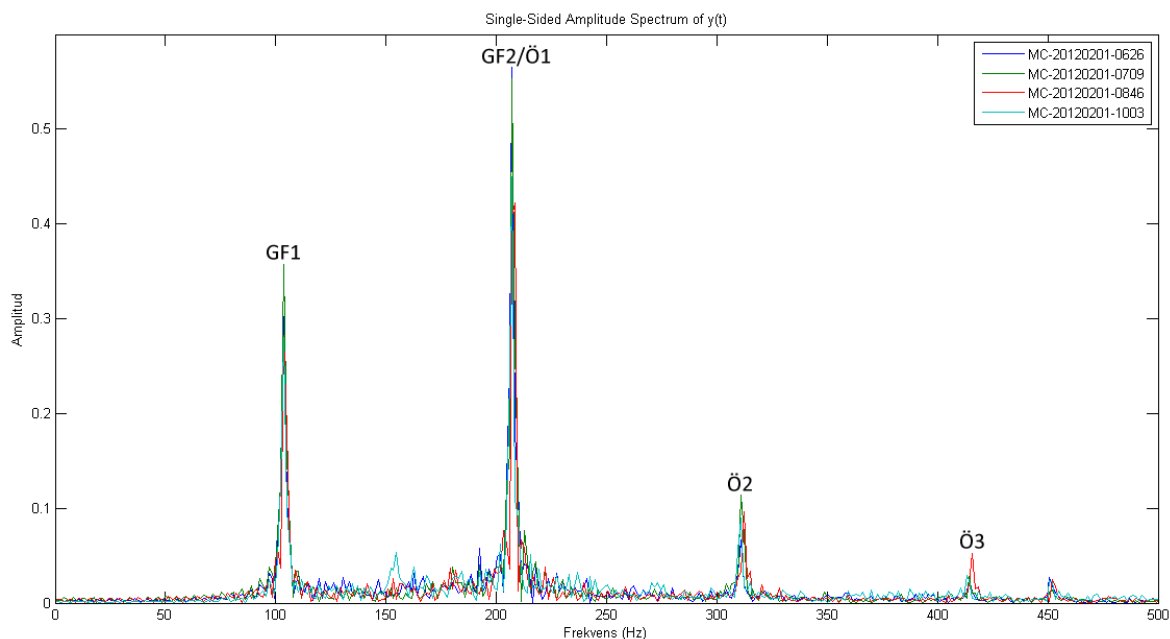
Figur 13. Frekvenstoppar för MT-propellern upp till 500Hz



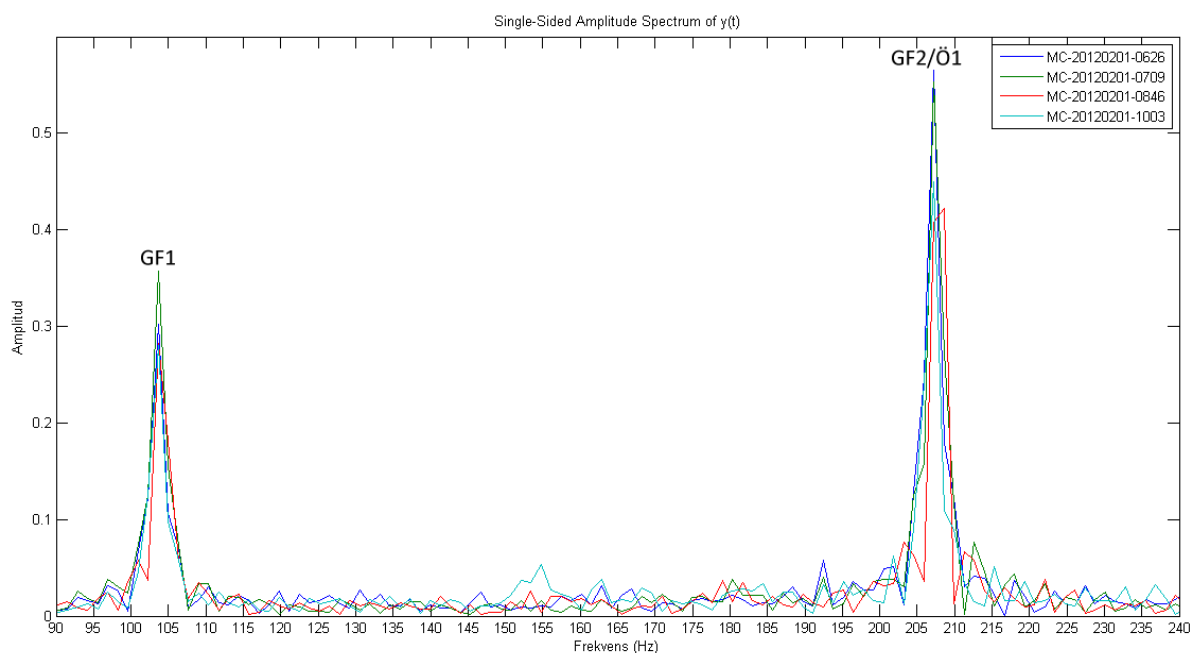
Figur 14. Grundfrekvensen (GF) på 129,2Hz och första övertonen (Ö1) på 258,4Hz

3.2.3 McCauley-propeller

För ljudupptagningarna med McCauley-propellern infinner sig en grundfrekvens (GF1) vid 103,6Hz, vilket ligger nära BPF för propellern om samma varvtal som för MT-propellern skulle användas i ekvation (1); $1550,4 \times 4 / 60 = 103,36\text{Hz}$. Anledningen till att BPF ligger så pass nära den uppmätta grundfrekvensen är att varvtalet för propellertyperna bör vara samma; ingen modifikation av motorn krävs för byte mellan propellertyperna och propellrarna är av typen *constant speed*, där varvtalet hålls konstant under *cruise* och propellerns *pitch* (vinkling mot luftströmmen) istället ändras. Till skillnad från MT-propellern syns dock en större frekvenstopp än för grundfrekvensen där den första övertonen (Ö1) väntas ligga (207,2Hz). GF2 är därav den andra grundfrekvensen som togs upp inuti kabinen och de två grundfrekvenserna resonerar vid GF1 och GF2. Den andra övertonen (Ö2) ligger på 310,8Hz (3xGF1) och den tredje övertonen ligger knappt ovanför bakgrundsbrusets nivå på 414,4Hz (4xGF1).



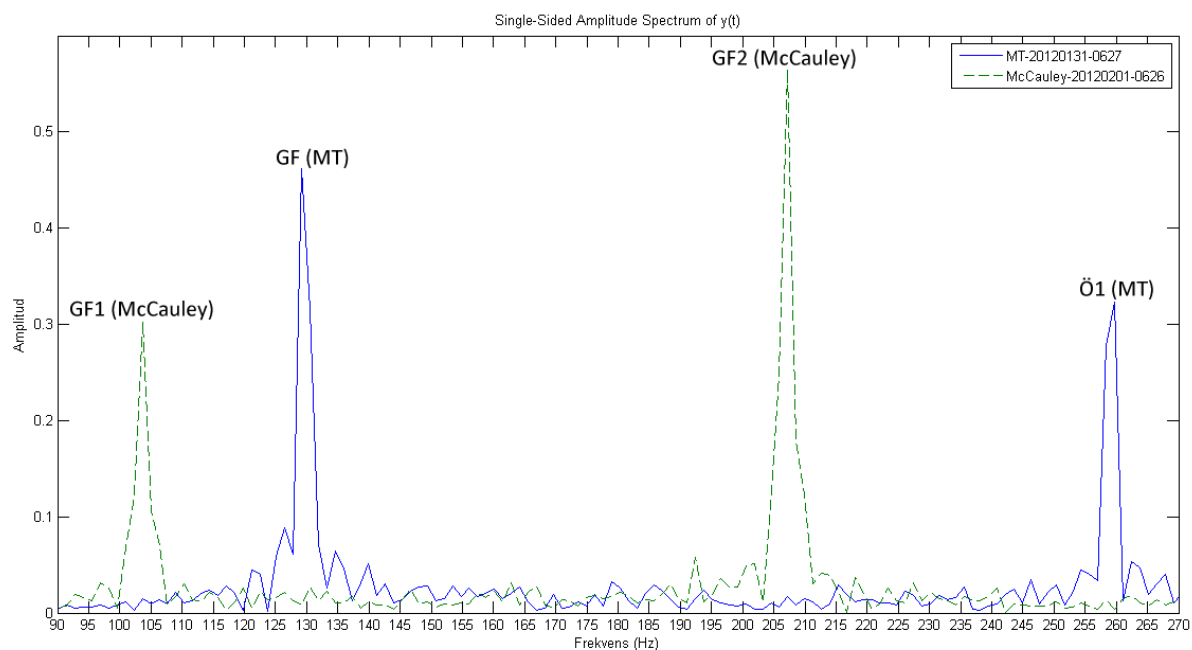
Figur 15. Frekvenstoppar för McCauley-propellern upp till 500Hz



Figur 16. Grundfrekvens 1 (GF1) på 103,6Hz och grundfrekvens 2/första övertonen (GF2/Ö1) på 207,2Hz

3.2.4 Jämförelse mellan MT och McCauley

Nedan följer ett diagram som visar resultatet av genomförd frekvensanalys på en ljudupptagning från vardera propellertyp, de ljudupptagningar som valts för jämförelsen är utvalda för att de bäst representerar sin respektive propellers genomsnittskurva. Skillnaden i ljudets karaktär mellan typerna är att McCauley-propellerns ljud främst består av två grundtoner, jämfört med MT-propellern vars ljud endast innehåller en grundton. Som diagrammet visar ligger MT-propellerns grundton (GF(MT)) på 129,2Hz mellan McCauleys två grundtoner, men eftersom McCauley-propellerns första grundton (GF1) vid 103,6Hz har en relativt låg amplitud jämfört med propellerns andra grundton (GF2) vid 207,2Hz ligger majoriteten av McCauley-propellerns ljud vid en högre frekvens än ljudet från MT-propellern (se bilaga B för större diagram).



Figur 17. Grundfrekvenserna för MT och McCauley med en upptagning vardera som medelvärde

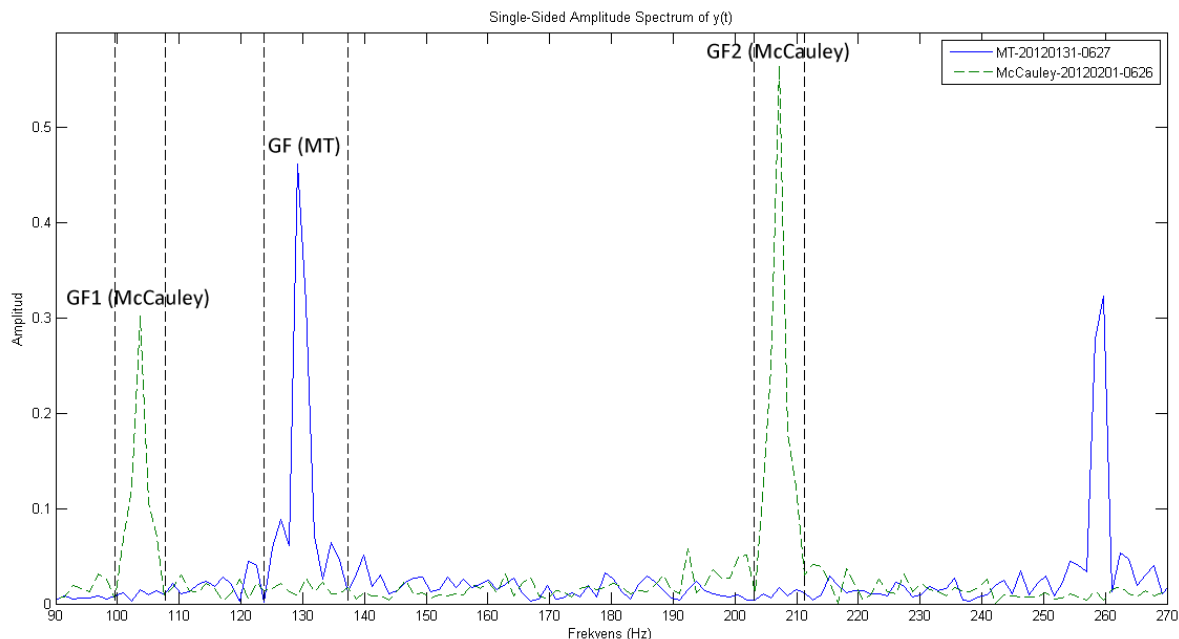
Örats känslighet varierar beroende på ljudets frekvens, som allra känsligast är örat för frekvenser mellan 3000-4000Hz¹⁵ och avtar därefter varefter frekvenserna frångår de värdena¹⁶. Örats känslighetsvariation är en faktor som måste vägas in vid analys av skillnaden i buller mellan de olika propellerna då de kan uppfattas olika, även om de ger upphov till ljudnivåer av samma styrka (se bilaga A). Eftersom majoriteten av McCauley-propellerns ljud ligger på högre frekvens än ljudet från MT-propellern kommer ljudnivån från McCauley-propellern uppfattas som högre, även om de båda ljuden skulle ha samma uppmätta ljudnivåvärde (dBA). Detta stämmer väl överens med skillnaden i ljudnivå som subjektivt uppfattades mellan de båda propellerna vid mätningstillfällena.

För att visa att detta påstående stämmer, annat än bara rent grafiskt, används en funktion i datorprogramvaran MATLAB som beräknar en approximation av integralen av den graf som fås från den tidigare genomförda FFT-analysen. Funktionen *trapz* (trapezoidal numerical integration) använder trapetsmetoden, där värden vid kända punkter används för att bilda trapetser under grafen, där arean kan bestämmas för varje delsegment och adderas till ett uppskattat värde på hela integralen.

¹⁵ Johansson, 2002

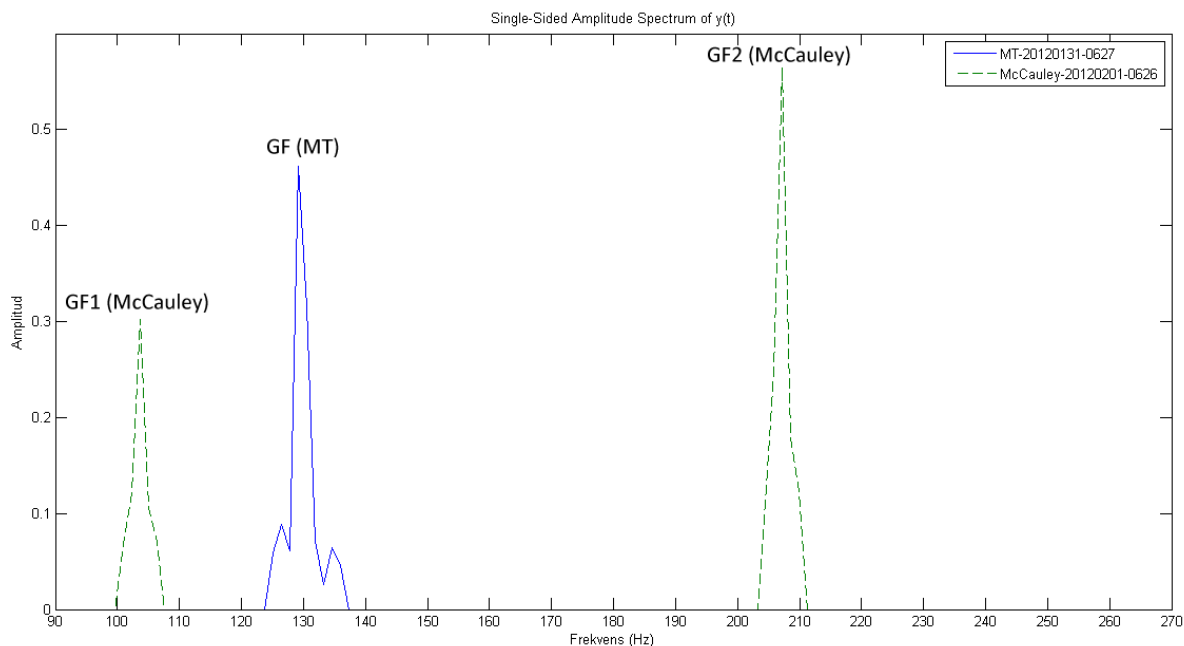
¹⁶ ICAO, 2004

Först genomförs samma FFT-analys som tidigare för att plotta frekvenserna, sedan väljs de värden som representeras i X-led som innesluter området som skall beräknas med hjälp av trapetsmetoden. Figur 18 visar grafiskt dessa gränser för den aktuella beräkningen.



Figur 18. Gränserna (svart) för de frekvensområden som beräknades med *trapz*-funktionen i MATLAB

Resultatet av beräkningen av integralerna för frekvensområdena visar att de två areorna för McCauley är ungefär 1,6 gånger större än arean för MT. Om hänsyn tas till arean av GF1 och GF2 (McCauley) samt deras frekvens, skulle en adderad enskild frekvenstopp befinna sig ungefär vid 171,2Hz, vilket styrker påståendet att majoriteten av McCauley-propellerns ljud ligger i en högre frekvens (+42Hz) än ljudet från MT-propellern.

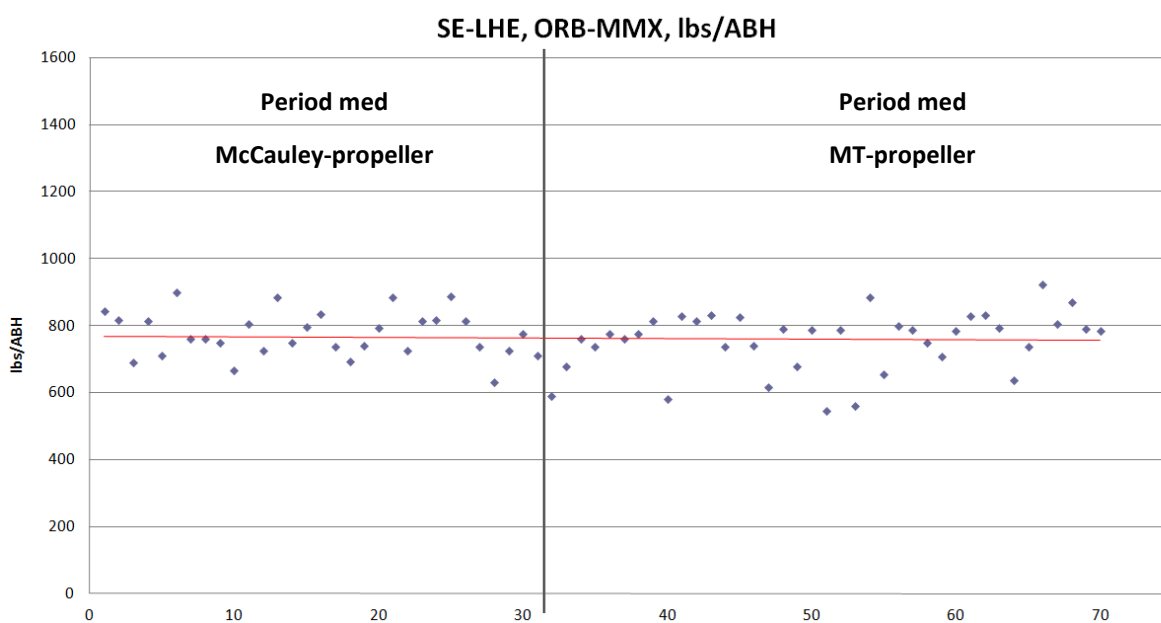


Figur 19. De frekvensområden som beräknades med *trapz*-funktionen, övriga data borttagen

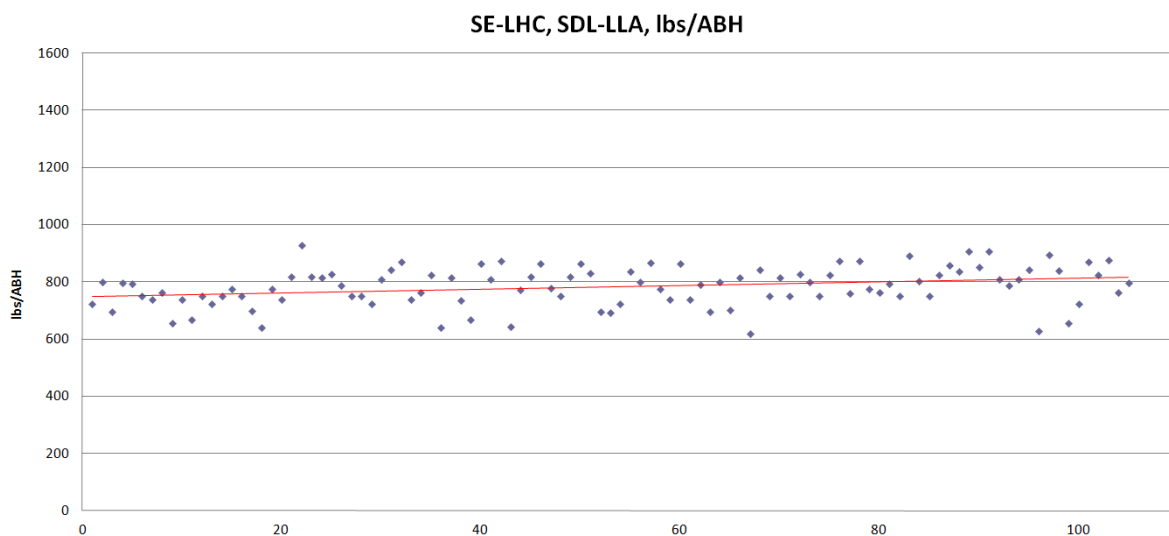
3.3 Bränsleberäkning

3.3.1 Analys av "ofiltrerad data"

Beräkningar har genomförts efter metod beskrivet enligt kapitel 2.3 (bränsleberäkning), där "ofiltrerad data" syftar på data från samtliga flygningar SE-LHE genomfört mellan ORB-MMX från 2011-10-13 till 2012-02-14, både med McCauley samt MT-propeller. För SE-LHC gäller detta samtliga flygningar mellan SDL-LLA från 2011-10-03 till 2012-01-17. Detta ger data från 31 flygningar för SE-LHE med McCauley-propeller samt 39 flygningar med MT-propeller. För SE-LHC resulterar det i 105 flygningar, vilket ger noggrannare medelvärden på bränslekonsumtion, flygtid osv. Figur 20 visar de 70 datapunkter som inkluderades i beräkningen av bränslekonsumtionen för SE-LHE samt linjär trendlinje (rött) för ett aktuellt medelvärde av denna. Figur 21 visar samma beräkning för SE-LHC, gjord på data från samtliga 105 flygningar. För SE-LHE kan en väldigt lätt nedåtgående trend ses från flygningarna, vilket visar på en något mindre bränslekonsumtion under perioden med MT-propeller, samtidigt syns för SE-LHC en lätt stigande trend i bränslekonsumtionen över dataperioden.

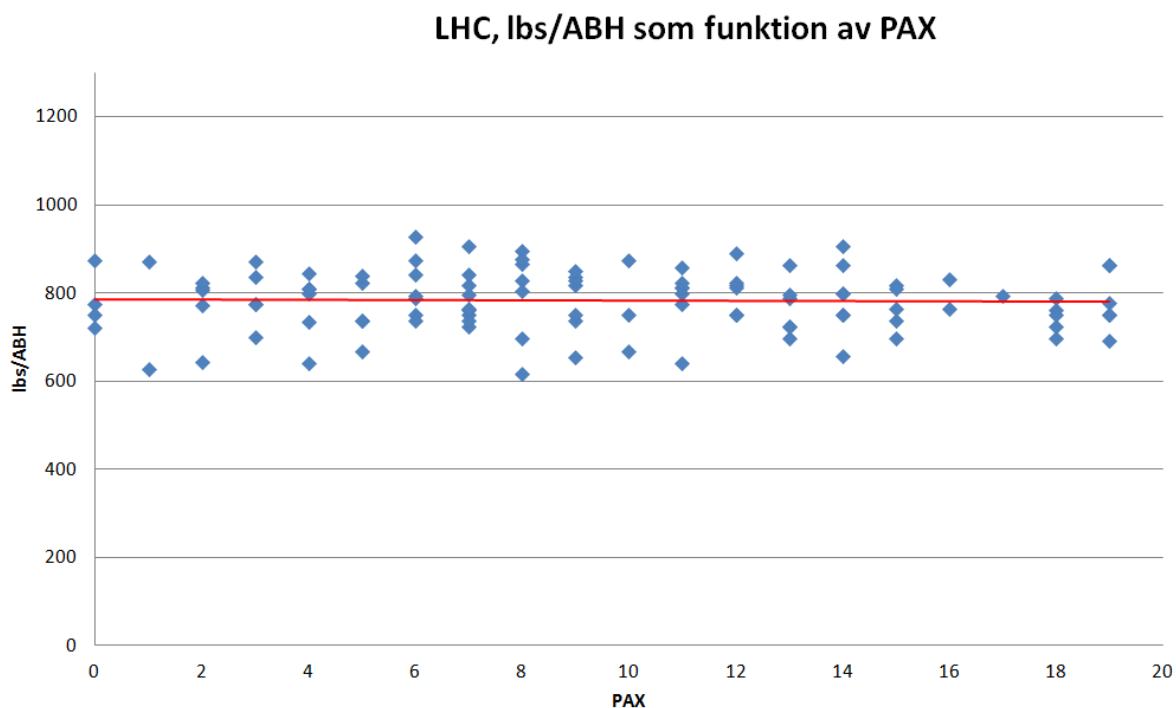


Figur 20. Bränslekonsumtion för SE-LHE som funktion av en kronologisk dataserie med trendlinje (rött) samt avdelning mellan propellertyperna



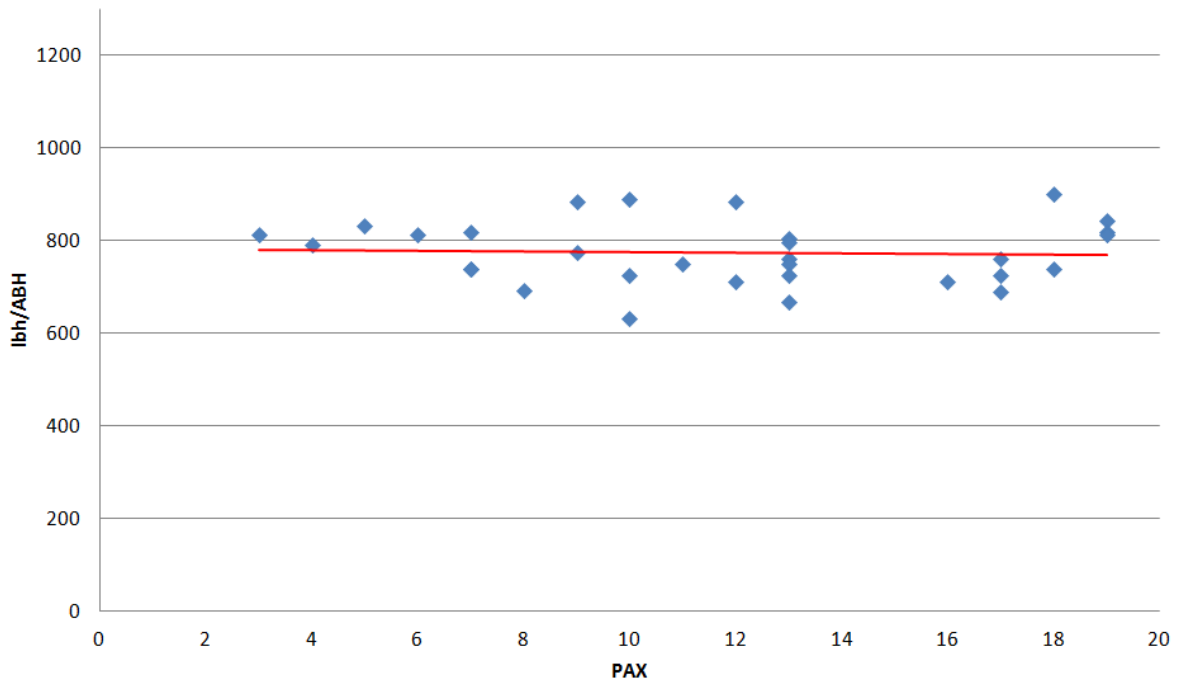
Figur 21. Bränslekonsumtion för SE-LHC som funktion av en kronologisk dataserie samt trendlinje (rött)

Perioden som figur 20 samt 21 visar bränslekonsumtionen över har av naturliga skäl dels en spridning av flygtiden (ABH) men även av passagerarantalet (PAX). Figur 22, 23 samt 24 visar på bränslekonsumtionen i lbs per ABH som funktion av passagerarantalet för SE-LHC samt SE-LHE (McCauley och MT). SE-LHC (se figur 22) har en spridning på ca 615-930lbs/ABH relativt jämnt fördelat över hela passagerarantalet, en väldigt lätt nedåtgående trend syns. SE-LHE utrustad med McCauley-propeller (se figur 23) har en spridning liknande SE-LHC (mellan ca 630-900lbs/ABH) med en väldigt lätt nedåtgående trend mot högre passagerarantal, skillnaden på bränslekonsumtion mellan låga och höga passagerarsiffror är dock fortfarande väldigt låg. SE-LHE utrustad med MT-propeller (se figur 24) har en större spridning på värdena för lbs/ABH, med ungefär samma toppvärde men ett lägre minimivärde (mellan ca 545-920lbs/ABH). Den något stigande trenden mot passagerarantalet som ses är kraftigare jämfört med trenden hos figur 23 och 24, skillnaden i bränslekonsumtion kan dock fortfarande ses som liten mot passagerarantalet. För medelvärde av lbs/ABH på SE-LHE samt SE-LHC, se tabell 2.



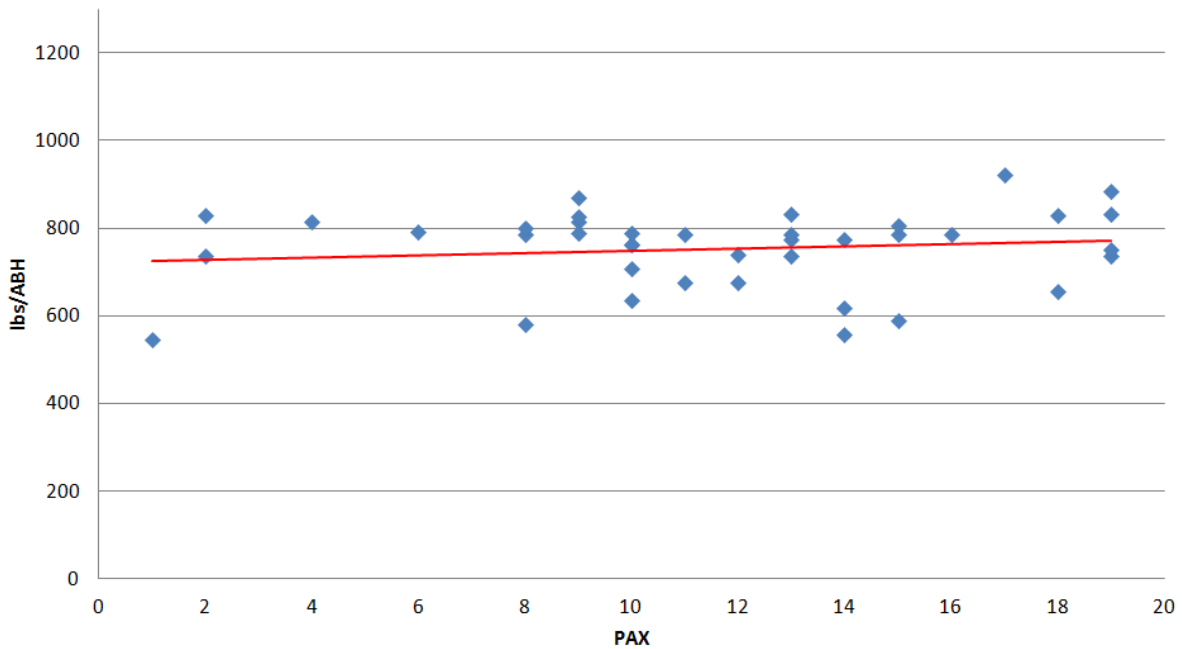
Figur 22. Bränslekonsumtion i lbs per ABH som funktion av passagerarantal för SE-LHC (McCauley-propeller) samt linjär trendlinje (rött)

SE-LHE, McCauley, lbs/ABH som funktion av PAX



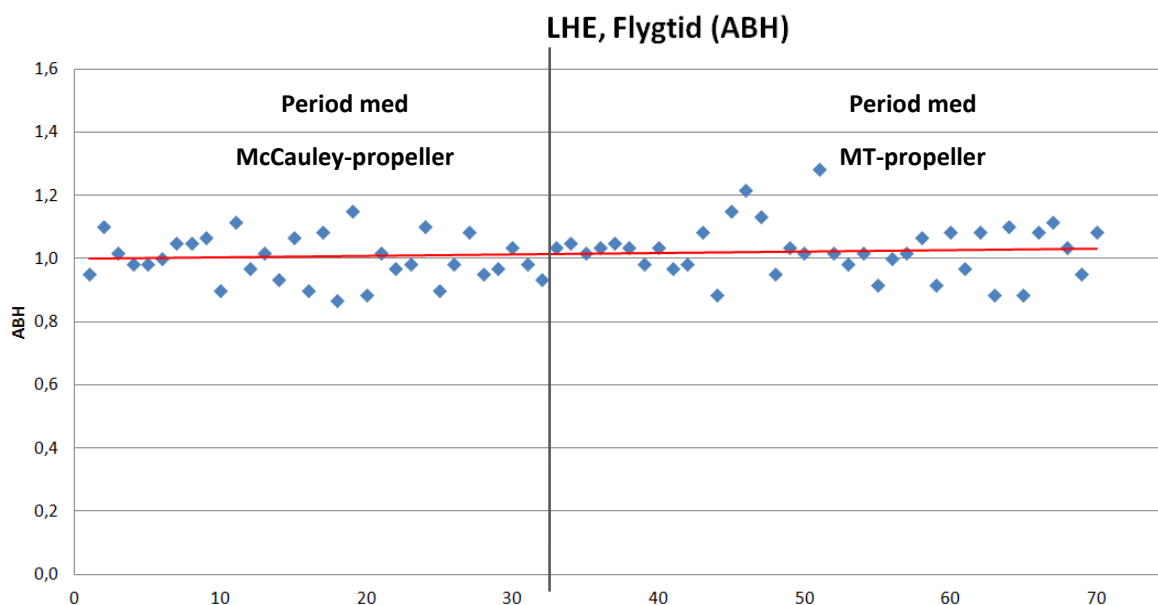
Figur 23. Bränslekonsumtion i lbs per ABH som funktion av passagerarantal för SE-LHE (McCauley-propeller) samt linjär trendlinje (rött)

SE-LHE, MT, lbs/ABH som funktion av PAX

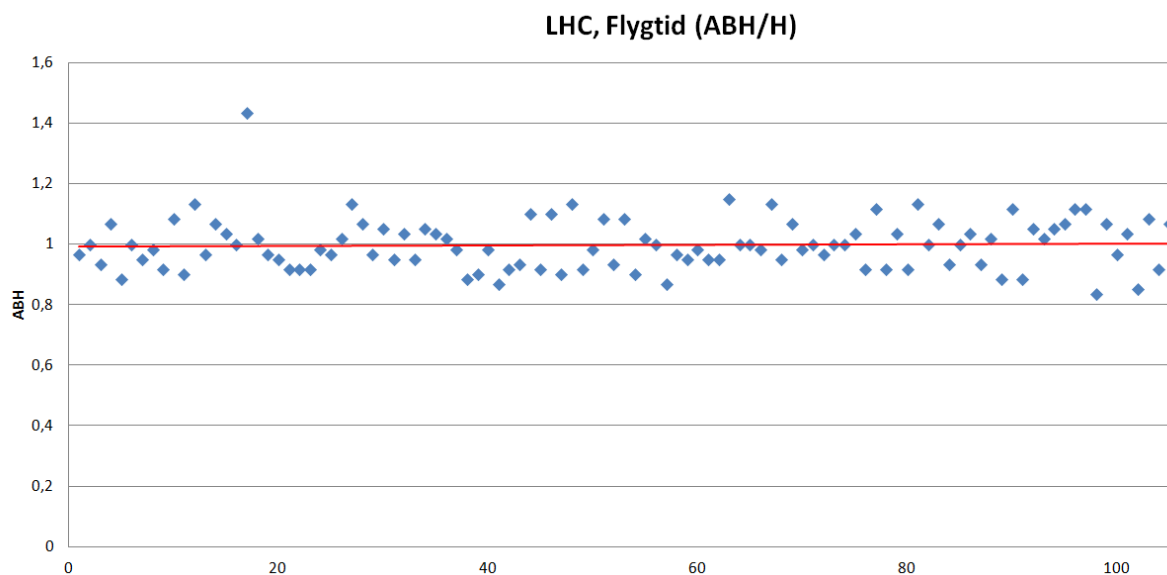


Figur 24. Bränslekonsumtion i lbs per ABH som funktion av passagerarantal för SE-LHE (MT-propeller) samt linjär trendlinje (rött)

Figur 25 och 26 visar hur flygtiden (ABH) varierar över perioden som insamlad data täcker, i figur 25 ses flygtiden med SE-LHE samt trenden i denna under perioden med både McCauley samt MT-propeller. Spridningen ligger mellan ca 0,87-1,28h och endast en lätt stigande trend kan ses över hela dataperioden, vilket innebär att flygningarna med MT i genomsnitt utfördes på något längre flygtider. Figur 26 visar flygtiden för SE-LHC över dess dataperiod, spridningen ligger mellan 0,83-1,43h, någon trend i flygtiden kan ej märkbart urskiljas över perioden. För medelvärden av flygtid på SE-LHE samt SE-LHC, se tabell 2.



Figur 25. Flygtid i ABH som funktion av en kronologisk dataserie över den aktuella perioden för SE-LHE med linjär trendlinje (rött) samt avdelning mellan propellertyperna



Figur 26. Flygtid i ABH som funktion av en kronologisk dataserie över den aktuella perioden för SE-LHC med linjär trendlinje (rött)

I tabell 2 nedan presenteras medelvärden för flygtid, blocktid, passagerarantal, förbrukat bränsle samt förbrukat bränsle per flygtimme för de två aktuella flygplansindividerna. SE-LHE:s värden har delats upp för att särskilja de båda propellertyperna. Raden "LHE-medelvärde" visar genomsnittssiffror för hela mätperioden, under vilken båda typerna av propeller har använts på individen. Dessa medelvärden är beräknade ur data från samtliga flygningar som presenterades i de tidigare diagrammen (under kapitel 3.3.1). Ur tabellen kan även standardavvikelse utläsas, vilket ger en indikation på hur stor spridning det är mellan de i analysen ingående datapunkterna.

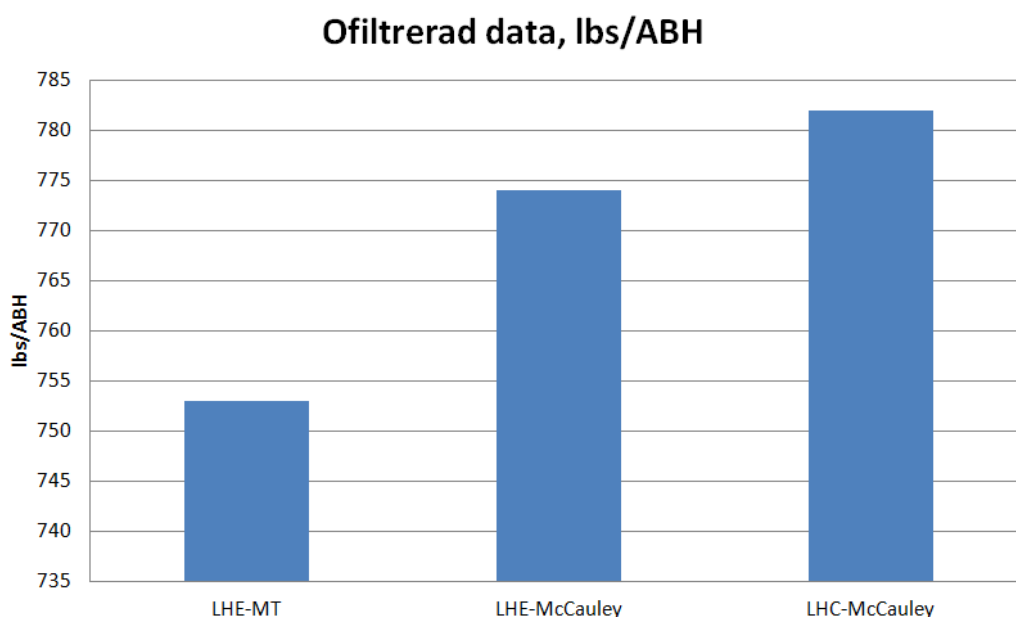
Medelvärden av data för SE-LHE samt SE-LHC, ofiltrerad data							
FPL	Propellertyp	ABH	BLH	PAX	Fuel used (lbs)	lbs/ABH	Standardavvikelse
LHE	MT	1,03	1,07	11,7	773	753	89,6
LHE	McCauley	1,00	1,12	11,9	775,8	774	67,9
LHE-medelvärde	MT+McCauley	1,01	1,09	11,76	774,3	762	80,8
LHC	McCauley	0,99	1,11	9,36	780	782	67,78

Tabell 2. Medelvärden av tidigare presenterad data för SE-LHE samt SE-LHC

Tabell 3 visar skillnad i mängd förbrukat bränsle per flygtimme mellan propellertyperna och flygplansindividerna. Skillnaden är beräknad utifrån de värden som presenterats i tabell 2. Jämförelsen mellan flygplansindividerna beräknas på data från hela perioden för SE-LHC, för SE-LHE används bara data från den period då individen var utrustad med propeller av typen McCauley. Tabell 3 visar att flygplansindividerna SE-LHE:s bränslekonsumtion per flygtimme (med McCauley-propeller) är lägre än för individen SE-LHC, med en skillnad på 8lbs (3,63kg) per flygtimme. Mellan MT och McCauley-propellertyperna monterade på SE-LHE är skillnaden i bränslekonsumtion 21lbs (9,53kg) per flygtimme.

Skillnad i lbs/ABH mellan flygplansindivider samt propellertyper, ofiltrerad data		
Flygplansindivider	Propellertyper	Skillnad i lbs/ABH
LHE	McCauley - MT	21 (fördel MT)
LHC-LHE	McCauley	8 (fördel LHE)

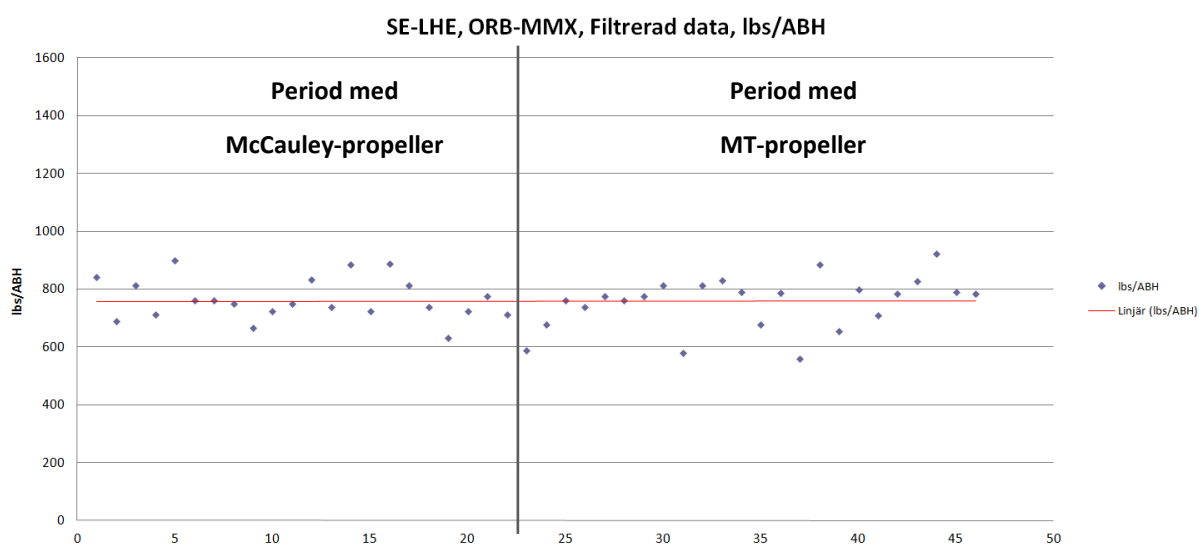
Tabell 3. Skillnad i bränslekonsumtion mellan propellertyper samt flygplansindivider



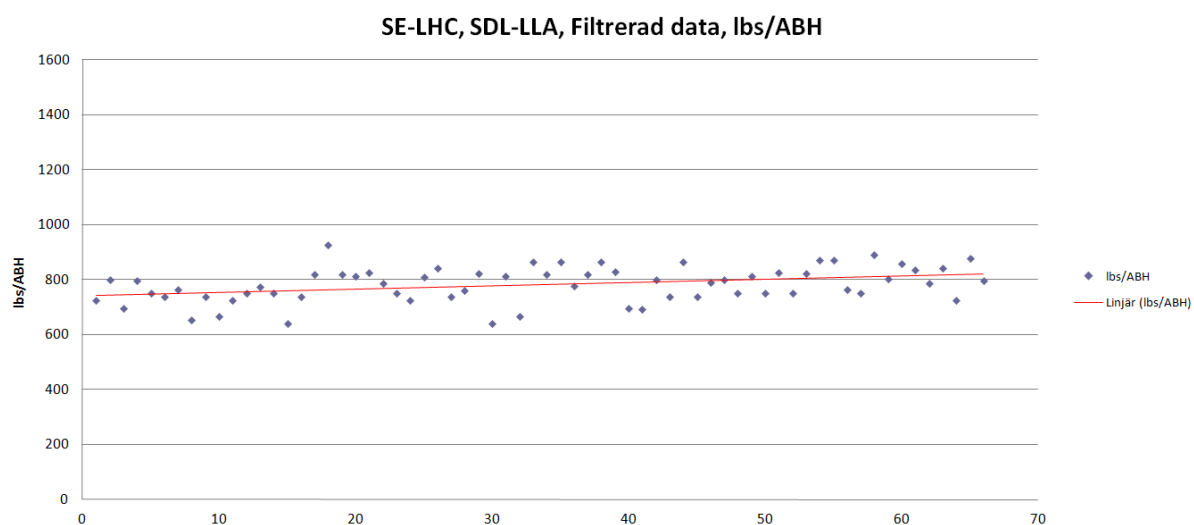
Figur 27. Bränslekonsumtion i lbs per flygtimme för SE-LHE (uppdelat per propellertyp) samt SE-LHC

3.3.2 Analys av "filtrerad data"

"Filtrerad data" syftar på data från alla flygningar med SE-LHE samt SE-LHC som uppfyller de bestämda parametrarna enligt kapitel 2.3; endast data från de flygningar som tagit mellan 0,9-1,1h i flygtid, maximalt 1,2h i blocktid och transporterat mellan 4-19 passagerare har inkluderats. Detta resulterade i data från 22 flygningar med SE-LHE utrustad med McCauley-propeller samt 24 flygningar med MT-propeller, för SE-LHC resulterade det i 66 flygningar/datapunkter. Figur 28 visar bränslekonsumtionen för SE-LHE med både McCauley samt MT-propeller under tidsperioden med tidigare givna förutsättningar, spridningen ligger mellan ca 560-925lbs/ABH och ingen märkbar trend är noterbar nog för att ur figuren urskilja fördel för någon propellertyp. Figur 29 visar bränslekonsumtionen för SE-LHC, spridningen är något mindre och befinner sig mellan 640-925lbs/ABH, en lätt stigande trend kan noteras över perioden.



Figur 28. Bränslekonsumtion för SE-LHE med linjär trendlinje (rött) samt avdelning mellan propellertyperna, filtrerad data



Figur 29. Bränslekonsumtion för SE-LHC med linjär trendlinje (rött), filtrerad data

I tabell 4 nedan presenteras medelvärden för flygtid, blocktid, passagerarantal, förbrukat bränsle samt förbrukat bränsle per flygtimme för de två aktuella flygplansindividerna. Beräkningarna har utförts utifrån filtrerad data, i enlighet med beskrivningen i kapitel 2.3 (bränsleberäkning). Raden "LHE-medelvärde" visar genomsnittssiffror för hela mätperioden, under vilken båda typerna av propellrar har använts på individen. Dessa medelvärden är beräknade ur data från flygningarna som presenterades i de tidigare diagrammen (under kapitel 3.3.2). Ur tabellen kan även standardavvikelse utläsas, vilket ger en indikation på hur stor spridning det är mellan de i analysen ingående datapunkterna.

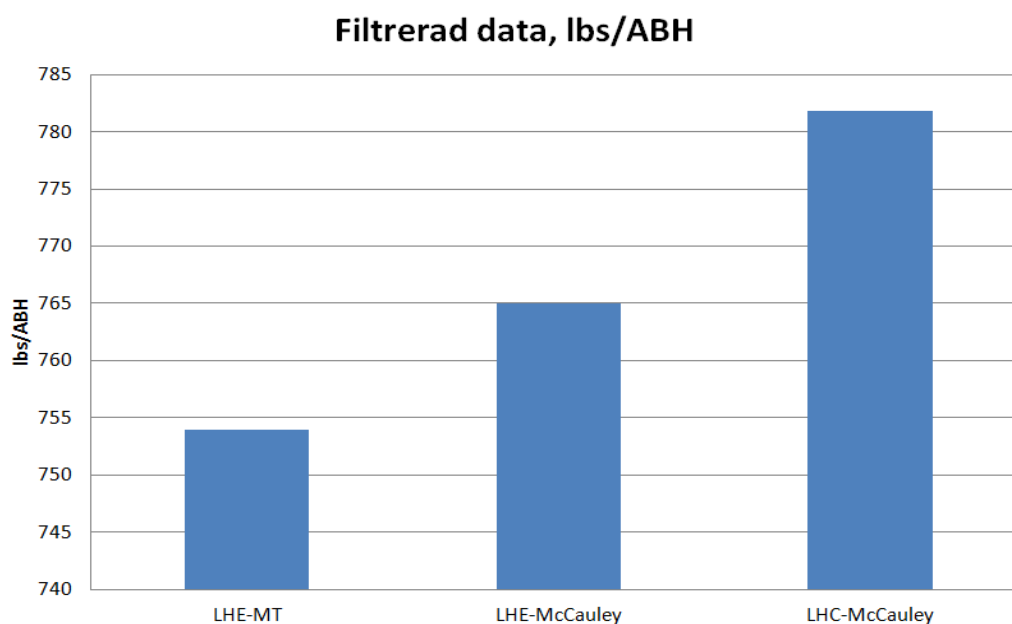
Medelvärden av data för SE-LHE samt SE-LHC, filtrerad data							
FPL	Propellertyp	ABH	BLH	PAX	Fuel used (lbs)	lbs/ABH	Standardavvikelse
LHE	MT	1,01	1,11	12,96	762,5	754	91,3
LHE	McCauley	0,98	1,01	12,31	756,8	765	72,1
LHE-medelvärde	MT+McCauley	1,00	1,10	12,65	759,8	759	81,9
LHC	McCauley	0,98	1,09	10,97	772,7	781,8	63,6

Tabell 4. Medelvärden av tidigare presenterad data för SE-LHE samt SE-LHC, filtrerad data

Tabell 5 nedan visar skillnad i mängd förbrukat bränsle per flygtimme mellan propellertyperna och flygplansindividerna. Skillnaden är beräknad utifrån värden filtrerade enligt beskrivningen i kapitel 2.3 och som presenterats i tabell 4. Tabell 5 visar att flygplansindivid SE-LHE:s bränslekonsumtion per flygtimme (med McCauley-propeller) är lägre än individen SE-LHC:s förbrukning, med en skillnad på 16,8lbs (7,62kg) per flygtimme. Mellan MT och McCauley-propellertyperna monterade på SE-LHE är skillnaden i bränslekonsumtion 11lbs (4,99kg) per flygtimme.

Skillnad i lbs/ABH mellan flygplansindivider samt propellertyper, filtrerad data		
Flygplansindivid	Propellertyp	Skillnad i lbs/ABH
LHE	McCauley - MT	11 (fördel MT)
LHC-LHE	McCauley	16,8 (fördel LHE)

Tabell 5. Skillnad i bränslekonsumtion mellan propellertyper samt flygplansindivider, filtrerad data



Figur 30. Bränslekonsumtion (lbs/ABH) för SE-LHE (uppdelat per propellertyp) samt SE-LHC, filtrerad data

3.3.3 Kostnadsanalys

En kostnadsanalys har genomförts enligt beskrivningen i kapitel 2.3 (bränsleberäkning). Denna analys genomförs för att undersöka vilka ekonomiska konsekvenser den eventuella skillnaden i bränsleförbrukning mellan de båda propellertyperna medför. Kostnadsanalysen baseras på resultat från bränsleberäkningar gjorda både på ofiltrerad och filtrerad data, det vill säga på resultaten som presenterats i kapitlen 3.3.1 samt 3.3.2. Anledningen till att analysen görs två gånger baserad på både ofiltrerad samt filtrerad data är att den filtrerade datan bättre representerar de medelvärden som kan förväntas under en längre tidsperiod, då medelvärdet som fås ur den ofiltrerade datans omfattning i högre utsträckning störs av enstaka datapunkter som ligger utanför den normala variationen vid analys av data från en, som i det här projektet, kortare tidsperiod.

Då det är mest vanligt att bränslepriser för JET-A1 anges i SEK/liter måste först mängden bränsle (lbs) konverteras till liter, första steget är då att räkna om viktenheterna lbs till kg, vilket görs med den ungefärliga omvandlingsfaktorn $1\text{ lbs} = 0,4536\text{ kg}$. När bränslemängden har omvandlats till kg återstår omvandling till volym (liter). JET-A1 har en densitet på $0,804\text{ kg/L}$ vid 15 grader Celsius , vikten (kg) divideras med densiteten för att ge bränslemängdens volym (liter). Bränslemängden i liter multipliceras med det aktuella priset för JET-A1 vilket ger kostnaden i SEK för bränslemängden. För dessa beräkningar används ett riktvärde på $6,50\text{ SEK/L}$ för JET-A1. Drivmedelspriser varierar vanligtvis över tid, där variationen beror på många faktorer, därför ska dessa beräkningar ses som räkneexempel gjorda på de i skrivande stund aktuella priserna. Som tidigare presenterats är skillnaden mellan propellertyperna vid beräkning med ofiltrerad data 21 lbs/ABH med fördel till MT-propellertypen, vid beräkning med filtrerad data är skillnaden 11 lbs/ABH med fördel till MT-propellertypen.

Räkneexempel (ofiltrerad data), beräkning av kostnadsbesparing per flygtimme (ABH)

Bränslebesparing (lbs/ABH)= 21

$1\text{ lbs}=0,4536\text{ Kg}$

Pris på JET-A1= $6,50\text{ SEK/L}$

Densitet för JET-A1= $0,804\text{ Kg/L}$

Beräkning: $(21 \cdot 0,4536 \cdot 6,50) / 0,804 = 77,01\text{ SEK/ABH}$

Räkneexempel (filtrerad data), beräkning av kostnadsbesparing per flygtimme (ABH)

Bränslebesparing (lbs/ABH)= 11

$1\text{ lbs}=0,4536\text{ Kg}$

Pris på JET-A1= $6,50\text{ SEK/L}$

Densitet för JET-A1= $0,804\text{ Kg/L}$

Beräkning: $(11 \cdot 0,4536 \cdot 6,50) / 0,804 = 40,36\text{ SEK/ABH}$

Resultatet av beräkningen på ofiltrerad data visar att bränslekostnaden per flygtimme vid operation av MT-propellrar är ca 77 SEK lägre jämfört med operation av McCauley-propellrar. För filtrerad data visar beräkningen att bränslekostnaden vid operation av MT-propellrar är ca 40 SEK lägre per flygtimme. På grund av naturligt varierande flygtider och bränsleåtgång vid en längre drift (efter flertalet månader) kan medelvärdet väntas vandra från det vid den ofiltrerade datan och närma sig resultatet från den filtrerade datan, med mindre spridning jämfört med datapunkternas antal.

4. Diskussion

Detta arbete hade till uppgift att genomföra en analys av bränslekonsumtionen, ljudnivån och den upplevda frekvensen inuti kabinen som uppstår i drift med och skillnaden mellan propellertyperna McCauley och MT, monterade på BAe Jetstream 32. Vi (författarna) känner att arbetet fortskridit i ungefär den takt och utvecklats till den omfattning vi tänkte oss från början. Vi förväntade oss möjligtvis lite bättre slutresultat, i form av större skillnad i ljudnivå mellan propellertyperna, den förväntan kommer antagligen från den subjektivt uppfattade ljudnivån under våra första mättillfällen. Vi hade i början några tankar om att även mäta vibrationer i kabinen, men planeringen till de mätningarna föll i huvudlag bort på att utrustning saknades för att på ett bra sätt ge tillförlitliga mätvärden och resultat. Genom att logga information från accelerationssensorerna i en mobiltelefon kunde vi se att det var en stor skillnad i vibrationernas styrka och typ av rörelse i kabinen, med vad vi uppfattade som en fördel till MT-propellertypen. Detta överensstämmer med den subjektivt uppfattade skillnaden i vibrationer mellan de båda propellertyperna under samtliga "mätflygningar". Under mätningarna hade vi möjlighet att prata med ett flertal piloter vilka samtliga sa att de upplevde MT-propellern som tystare och gav mindre vibrationer. Vi anser dock att resultatet och mätmetoden inte kan ses som trovärdigt nog, därför kändes det inte värt att ta tid från det övriga arbetet och genomföra en analys av dessa data.

Ljudnivåmätningarna begränsades dels i sitt utförande genom att vi bara kunde genomföra mätningarna på vanliga, schemalagda, flygningar vilket resulterade i varierande passagerarantal, vi tycker dock att spridningen var så pass liten att mätresultaten blev bra nog under gällande omständigheter. Den andra begränsningen i ljudnivåmätningen är antalet flygningar vi hade tid att genomföra mätningarna på. För att få bättre klarhet i hur ljudet sprids i kabinen hade det varit intressant att göra ljudnivåmätningar från samtliga sittplatser i kabinen. Vi tycker ändå att ett relativt bra medelvärde på ljudnivån har fastställts vid mätningar på de tre rader vi valt att göra mätningar från, som tydligt visar på en skillnad mellan propellertyperna samt hur ljudet breder ut sig i kabinen. Från början funderade vi även på att genomföra externa ljudnivåmätningar för att analysera ljudnivån utanför flygplanet, de mätningarna kom dock aldrig förbi planeringsstadiet p.g.a. tidsbrist. Ytterligare en begränsande faktor vid mätning av ljudnivån är decibelmätarens noggrannhet, enligt specifikationen har den decibelmätare vi använde för mätningarna en noggrannhet på ± 2 dB. Det hade även varit önskvärt att ha en decibelmätare som har möjlighet att lagra mätvärden digitalt, då hade vi kunnat använda denna funktion för att lättare logga ögonblicksmätningar under cruise-fasen av flygningen för att sedan analysera och beräkna medelvärde av dessa loggade mätvärden, vilket hade gett bättre noggrannhet på *average-cruise*-mätningarna samt minskat risken för avläsningsfel. Resultaten från ljudnivåmätningarna visar att det generellt sett är lägre ljudnivå i bakre delen av kabinen och med MT-propellrar så är ljudet från rad fyra och bakåt betydligt lägre än längre fram i kabinen, jämfört med ljudnivån vid flygning med McCauley-propellrar. Detta blir i praktiken viktigt då den genomsnittliga mängden passagerare vid ljudnivåmätningarna (samt vid använd data från bränsleanalysen) låg kring 11-12 samt att kabinen alltid i första hand fylls på bakifrån p.g.a. vikt och balans. Detta medför att för den genomsnittliga passageraren kommer skillnaden i ljudnivå vara påtagligt lägre vid flygning med MT-propellrar.

Resultatet från frekvensanalysen anser vi är det mest tillförlitliga mot övriga resultat i och med att skillnaden mellan uppmätta frekvenstoppar skiljde så pass lite med upptagningar på ett flertal flygningar, det som eventuellt skulle vara av intresse som vidare arbete är att genomföra samma analys på den ursprungligt monterade propellertypen Dowty, Direktflyg använder dock inte den propellertypen på något flygplan i sin flotta så en sådan analys uteblev.

Den största begränsningen inom arbetet med bränsleberäkningarna är att bränsleåtgången för varje flygning fick kopieras över från handskrivna loggar, vilket kunde medföra att antingen piloten skrev av aktuella värden fel eller att vi läste av värden fel när vi överförde dem till Excel-ark för vidare bearbetning. På de loggar vi använde i vår analys avrundas informationen om aktuell bränslemängd till närmaste 50lbs (22,68kg), vidare stämmer flygplanets bränslenivåmätare bara till en viss individuell noggrannhet, vilket gör jämförelsen mellan de två flygplansindividerna SE-LHE och SE-LHC till mer av en indikation på hur förbrukningen kan skilja mellan samma motormodell då de har olika gångtid. Resultatet visar dock på en konsekvent lägre förbrukning för MT-propellern och för att få ett bättre genomsnitt på denna skulle beräkningen och datahanteringen med fördel baserats på data från en längre period efter att propellerbytet genomförts, för att ge bättre medelvärden på flygtid och bränslekonsumtion. I genomförandet av arbetet ville vi dock arbeta med de data vi hade tillgängliga för stunden, även om arbetet då ska ses mer som en initial analys av propellerbytet och mer en fingervisning om fördelen för någon av propellertyperna.

5. Slutsatser

Att mäta ljud i ett flygplans kabin och få fram konsekventa och kontinuerliga värden vid vanlig drift är svårt, resultaten är dock tydliga nog att kunna tala för en av propellertypernas fördel. Resultaten från ljudnivåmätningarna visar på en lägre ljudnivå i genomsnitt över hela kabinen vid användning av den nya propellertypen MT jämfört med propellrar av typen McCauley (-0,55 average dBA) och betydligt lägre ljudnivå bakom rad 2 (-1,88 dBA rad 4 respektive -0,58dBA rad 6 (average dBA)), vilket är i närheten av de maximala ljudnivåförbättringar tillverkaren MT uppmätt i egna tester¹⁷. Kabinen fylls av vikt- och balansskäl med passagerare i den bakre halvan av flygplanet upp till en genomsnittlig kabinfaktor. Tillsammans med faktumet att McCauley-propellern genererar frekvenser som sammanlagt sett mot MT ligger högre i frekvens, vilket örat uppfattar känsligare och som en högre ljudnivå (se bilaga A), resulterar detta i praktiken för den genomsnittlige passageraren i en lägre upplevd ljudnivå vid flygning med propellrar av typen MT. Subjektivt uppfattat ger propellertypen MT även svagare vibrationer över hela kabinen, vilket dock ej fastslagits med någon trovärdig mätmetod och därav i detta arbete ej kan styrkas som något definitivt resultat.

Bränslekonsumtionen är något lägre vid användande av MT-propellrar jämfört med McCauley, där genomsnittsförbrukningen väntas ligga mellan 11-21lbs/ABH lägre sett över en längre tidsperiod (vid mätningar efter ca ett år). Skillnaden mellan individerna SE-LHE och SE-LHC vid samma propellertyp ligger i närhet av resultatet mellan MT och McCauley vilket ger en indikation på hur stor skillnaden kan vara mellan olika individer. En besparing av 11-21lbs/ABH ger med det ungefärliga bränslepris Direktflyg betalar en sänkning av driftkostnaden mellan 40,36-77,01SEK per flygtimme, vilket är en minskning med mellan 1,44–2,71% i bränslepris, jämfört med bränslekonsumtionen hos SE-LHE med McCauley-propeller.

¹⁷ http://www.mt-propeller.com/en/entw/stcs/bae_31.htm (2012-02-26)

6. Rekommendationer

Om Direktflyg har för avsikt att själva fortsätta med detta arbete för att få bättre medelvärden på ljudnivån inuti kabinen samt se hur ljudnivån ändras över raderna i en Jetstream 32 med de två propellertyperna rekommenderas det att följa beskriven metodik så noggrant som möjligt, då även mindre förflyttningar av ljudnivåmätaren eller handhavandet av denna ger stora ändringar i mätresultatet. Ett förslag till fortsatt arbete är att göra ytterligare mätningar för att få en komplett bild av spridningen av ljudnivån över alla säten inuti kabinen. Är avsikten att utföra externa mätningar används med fördel de procedurer som beskrivs enligt [ICAO, 2004] för att så gott som möjligt efterlikna de generella förhållanden och metoder som gäller vid många flygplans certifiering, exempelvis för de flygplanstillverkare som faller under EASAs regelverk. En digital ljudnivåmätare som visar både ljudnivån (dBA) samt frekvensomfånget (Hz) rekommenderas vid vidare arbete istället för att analysera dessa värden separat, möjlighet till att digitalt logga resultat är även att föredra framför den analoga metoden som beskrivs enligt detta arbete om ett större antal mätningar väntas genomföras. Ytterligare förslag till fortsatt arbete är att utföra vibrationsmätningar på flygningar med propellertyperna för att ge konkreta värden till de subjektivt uppfattade vibrationsnivåerna. Vidare är rådata från detta arbete bearbetat och upplagt så att det är relativt enkelt att fylla på med fler flygningar och få fram bättre medelvärden på bränslekonsumtion samt flygtid för MT- samt McCauley-propellrarna om Direktflyg så önskar efter en längre tid. För de som utför liknande arbeten i framtiden rekommenderas att hålla parametrarna kontrollerade och variansen av dessa så liten som praktiskt möjligt inom den datamängd man efterfrågar (se kapitel 2.3). Vad gäller bränsleberäkningarna så skulle ett bättre resultat ges genom att basera beräkningarna från bränsle/flygtidsdata från åtminstone ett års flygningar, dels för att få mer data att bearbeta, men även för att minimera påverkan från exempelvis de yttre faktorernas periodiska skiftningar under årets gång.

7. Tack

Vi skulle vilja tacka de personer som hjälpt till med arbetet på ett eller annat sätt;

Mirko Senkovski som varit vår handledare på Mälardalens Högskola, doktorand Martin Ekström för hjälp med svar angående frekvensanalysens genomförande, ett stort tack till Ola Bergkvist och övrig personal på Direktflyg och deras tekniska kontor för bra mailkontakt, hjälp med utdrag ur diverse flygloggar, bra svar på våra frågor, ombokning av flygplansindivider för att underlätta våra ljudnivåmätningar och det vänliga bemötandet när vi har arbetat i deras lokaler. Tack till Sven-Erik för hjälp med boende närmare Borlänge under flygningarnas genomförande och slutligen tack till Caroline och Alexandra för förståelse att vi varit lite frånvarande fysiskt och mentalt under arbetet.

8. Referenser

- ¹ Björnelund, Owe och Hugo, Ulf, (1999), *Flygplankort*, Försvarsmakten, Stockholm
- ² MT-Propeller, (2012), *Operations and Installation Manual E-610 (MTV-27-()-R(P),(G),(W))*
- ^{3, 17} MT Propeller, Website. http://www.mt-propeller.com/en/entw/stcs/bae_31.htm (2012-02-26)
- ^{4, 9} European Aviation Safety Agency, (2003), *Commission Regulation (EC) No 1702/2003*
- ^{5, 14} Zimcik, D.G, (2004), *Active Control of Aircraft Cabin Noise*, Institute for Aerospace Research - National Research Council Canada, Ottawa
- ^{6, 15} Johansson, Bengt, (2002), *Buller och bullerbekämpning*, Arbetsmiljöverket, Solna
- ⁷ TES Electrical Electronic Corp., Website. <http://tes.com.tw/1350a.htm> (2012-02-06)
- ⁸ International Electrotechnical Commission (IEC), (2002), *International Standard IEC 61672-1, Electro acoustics - Sound level meters, first edition*
- ¹⁰ International Civil Aviation Organization, (2008), *Annex 16 – Environmental Protection, Volume I – Aircraft Noise*
- ¹¹ Mathworks MATLAB, Website. <http://www.mathworks.se/products/matlab/description1.html> (2012-02-07)
- ¹² Burrus, C, *Fast Fourier Transforms*, Website. <http://cnx.org/content/col10550/1.21/> (2012-02-07)
- ¹³ Smith, J, *Mathematics of the Discrete Fourier Transform (DFT): with Audio Applications- Second Edition*, Website. <https://ccrma.stanford.edu/~jos/mdft/mdft.html> (2012-02-07)
- ^{16, 18} International Civil Aviation Organization, (2004), *Environmental Technical Manual on the use of Procedures in the Noise Certification of Aircraft - Third Edition, Doc 9501, AN/929*

Referens till figurer

Figur 6. TES Electrical Electronic Corp, Website. <http://tes.com.tw/1350a.htm> (2012-02-06)

Figur 8. Airlink, Website. <http://www.airlink.fi/content.jsp?menuId=43> (2012-02-06)

9. Bilagor

- A. Tabell: Upplevt ljud (störning) som en funktion av ljudtrycksnivå¹⁸
- B. Diagram: Frekvenstoppar i de lägre frekvensbanden för MT samt McCauley
- C. Diagram: Max Take Off, Cruise, Landing and Average Cruise for MT and McCauley (dBA)
- D. Noise measurement record form
- E. Rådata från formulär till decibelmätningar

¹⁸ ICAO, 2004 (appendix 4)

Bilaga A – Tabell: Upplevt ljud (störning) som en funktion av ljudtrycksnivå

*Environmental Technical Manual on the Use of
Procedures in the Noise Certification of Aircraft*

APP 4-2

Table A4-1. Perceived noisiness (noys) as a function of sound pressure level

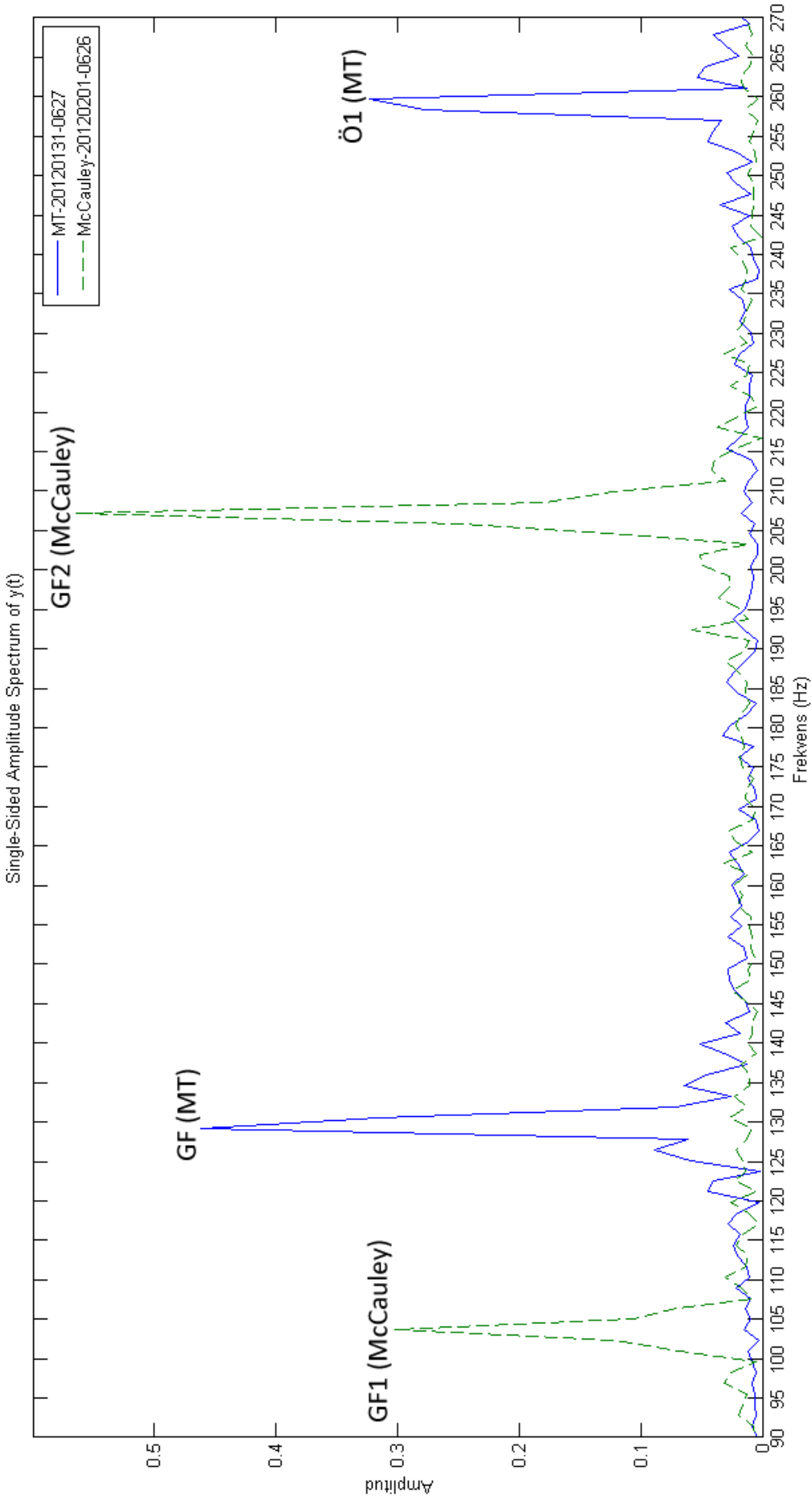
One-third octave band centre frequencies (Hz)

SPL	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	
4																			0.10						
5																			0.10	0.11	0.10				
6																			0.11	0.12	0.11	0.10			
7																			0.12	0.14	0.13	0.11			
8																			0.14	0.16	0.14	0.13			
9																		0.10	0.16	0.17	0.16	0.14			
10																			0.11	0.17	0.19	0.18	0.16	0.10	
11																			0.13	0.19	0.22	0.21	0.18	0.12	
12																		0.10	0.14	0.22	0.24	0.24	0.21	0.14	
13																		0.11	0.16	0.24	0.27	0.27	0.24	0.16	
14																		0.13	0.18	0.27	0.30	0.30	0.27	0.19	
15															0.10	0.14	0.21	0.30	0.33	0.33	0.30	0.22			
16										0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.16	0.24	0.33	0.35	0.35	0.33	0.26			
17										0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.18	0.27	0.35	0.38	0.38	0.35	0.30	0.10		
18									0.10	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.15	0.21	0.30	0.38	0.41	0.41	0.38	0.33	0.12		
19									0.11	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.17	0.24	0.33	0.41	0.45	0.45	0.41	0.36	0.14		
20									0.13	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.20	0.27	0.36	0.45	0.49	0.49	0.45	0.39	0.17		
21									0.10	0.14	0.18	0.18	0.18	0.18	0.23	0.30	0.39	0.49	0.53	0.53	0.49	0.42	0.21	0.10	
22									0.11	0.16	0.21	0.21	0.21	0.21	0.26	0.33	0.42	0.53	0.57	0.57	0.53	0.46	0.25	0.11	
23									0.13	0.18	0.24	0.24	0.24	0.24	0.30	0.36	0.46	0.57	0.62	0.62	0.57	0.50	0.30	0.13	
24							0.10	0.14	0.21	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.33	0.40	0.50	0.62	0.67	0.67	0.62	0.55	0.33	0.15	
25							0.11	0.16	0.24	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0.43	0.55	0.67	0.73	0.73	0.67	0.60	0.36	0.17	
26							0.13	0.18	0.27	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.38	0.48	0.60	0.73	0.79	0.79	0.73	0.65	0.39	0.20	
27					0.10	0.14	0.21	0.30	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.41	0.52	0.65	0.79	0.85	0.85	0.79	0.71	0.42	0.23		
28					0.11	0.16	0.24	0.33	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.45	0.57	0.71	0.85	0.92	0.92	0.85	0.77	0.46	0.26		
29					0.13	0.18	0.27	0.35	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.49	0.63	0.77	0.92	1.00	1.00	0.92	0.82	0.50	0.30		
30				0.10	0.14	0.21	0.30	0.38	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.53	0.69	0.84	1.00	1.07	1.07	1.00	0.92	0.55	0.33		
31				0.11	0.16	0.24	0.33	0.41	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.57	0.76	0.93	1.07	1.15	1.15	1.07	1.00	0.60	0.37		
32				0.13	0.18	0.27	0.36	0.45	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.62	0.83	1.00	1.15	1.23	1.23	1.15	1.07	0.65	0.41		
33				0.14	0.21	0.30	0.39	0.49	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.67	0.91	1.07	1.23	1.32	1.32	1.23	1.15	0.71	0.45		
34			0.10	0.16	0.24	0.33	0.42	0.53	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.73	1.00	1.15	1.32	1.41	1.41	1.32	1.23	0.77	0.50		
35				0.11	0.18	0.27	0.36	0.46	0.57	0.67	0.67	0.67	0.67	0.79	1.07	1.23	1.41	1.51	1.51	1.41	1.32	0.84	0.55		
36				0.13	0.21	0.30	0.40	0.50	0.62	0.73	0.73	0.73	0.73	0.85	1.15	1.32	1.51	1.62	1.62	1.51	1.41	0.92	0.61		
37				0.15	0.24	0.33	0.43	0.55	0.67	0.79	0.79	0.79	0.79	0.92	1.23	1.41	1.62	1.74	1.74	1.62	1.51	1.00	0.67		
38				0.17	0.27	0.37	0.48	0.60	0.73	0.85	0.85	0.85	0.85	1.00	1.32	1.51	1.74	1.86	1.86	1.74	1.62	1.10	0.74		
39			0.10	0.20	0.30	0.41	0.52	0.65	0.79	0.92	0.92	0.92	0.92	1.07	1.41	1.62	1.86	1.99	1.99	1.86	1.74	1.21	0.82		
40				0.12	0.23	0.33	0.45	0.57	0.71	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.15	1.51	1.74	1.99	2.14	2.14	1.99	1.86	1.34	0.90	
41				0.14	0.26	0.37	0.50	0.63	0.77	0.92	1.07	1.07	1.07	1.07	1.23	1.62	1.86	2.14	2.29	2.29	2.14	1.99	1.48	1.00	
42				0.16	0.30	0.41	0.55	0.69	0.84	1.00	1.15	1.15	1.15	1.15	1.32	1.74	1.99	2.29	2.45	2.45	2.29	2.14	1.63	1.10	
43				0.19	0.33	0.45	0.61	0.76	0.92	1.07	1.23	1.23	1.23	1.23	1.41	1.86	2.14	2.45	2.63	2.63	2.45	2.29	1.79	1.21	
44			0.10	0.22	0.37	0.50	0.67	0.83	1.00	1.15	1.32	1.32	1.32	1.32	1.52	1.99	2.29	2.63	2.81	2.81	2.63	2.45	1.99	1.34	
45				0.12	0.26	0.42	0.55	0.74	0.91	1.08	1.24	1.41	1.41	1.41	1.62	2.14	2.45	2.81	3.02	3.02	2.81	2.63	2.14	1.48	
46				0.14	0.30	0.46	0.61	0.82	1.00	1.16	1.33	1.52	1.52	1.52	1.74	2.29	2.63	3.02	3.23	3.23	3.02	2.81	2.29	1.63	
47				0.16	0.34	0.52	0.67	0.90	1.08	1.25	1.42	1.62	1.62	1.62	1.87	2.45	2.81	3.23	3.46	3.46	3.23	3.02	2.45	1.79	
48				0.19	0.38	0.58	0.74	1.00	1.17	1.34	1.53	1.74	1.74	1.74	2.00	2.63	3.02	3.46	3.71	3.71	3.46	3.23	2.63	1.98	
49			0.10	0.22	0.43	0.65	0.82	1.08	1.26	1.45	1.64	1.87	1.87	1.87	2.14	2.81	3.23	3.71	3.97	3.97	3.71	3.46	2.81	2.18	
50				0.12	0.26	0.49	0.72	0.90	1.17	1.36	1.56	1.76	2.00	2.00	2.00	2.30	3.02	3.46	3.97	4.26	4.26	3.97	3.71	3.02	2.40
51				0.14	0.30	0.55	0.80	1.00	1.26	1.47	1.68	1.89	2.14	2.14	2.14	2.46	3.23	3.71	4.26	4.56	4.56	4.26	3.97	3.23	2.63
52				0.17	0.34	0.62	0.90	1.08	1.36	1.58	1.80	2.03	2.30	2.30	2.30	2.64	3.46	3.97	4.56	4.89	4.89	4.56	4.26	3.46	2.81
53				0.21	0.39	0.70	1.00	1.18	1.47	1.71	1.94	2.17	2.46	2.46	2.46	2.83	3.71	4.26	4.89	5.24	5.24	4.89	4.56	3.71	3.02
54				0.25	0.45	0.79	1.09	1.28	1.58	1.85	2.09	2.33	2.64	2.64	2.64	3.03	3.97	4.56	5.24	5.61	5.61	5.24	4.89	3.97	3.23
55				0.30	0.51	0.89	1.15	1.35	1.71	2.00	2.25	2.50	2.83	2.83	2.83	3.25	4.26	4.89	5.61	6.01	6.01	5.61	5.24	4.26	3.46
56				0.34	0.59	1.00	1.29	1.50	1.85	2.15	2.42	2.69	3.03	3.03	3.03	3.48	4.56	5.24	6.01	6.44	6.44	6.01	5.61	4.56	3.71
57				0.39	0.67	1.09	1.40	1.63	2.00	2.33	2.61	2.88	3.25	3.25	3.25	3.73	4.89	5.61	6.44	6.90	6.90	6.44	6.01	4.89	3.97
58				0.45	0.77	1.18	1.53	1.77	2.15	2.51	2.81	3.10	3.48	3.48	3.48	4.00	5.24	6.01	6.90	7.39	7.39	6.90	6.44	5.24	4.26
59				0.51	0.87	1.29	1.66	1.92	2.33	2.71	3.03	3.32	3.73	3.73	3.73	4.29	5.61	6.44	7.39	7.92	7.92	7.39	6.90	5.61	4.56

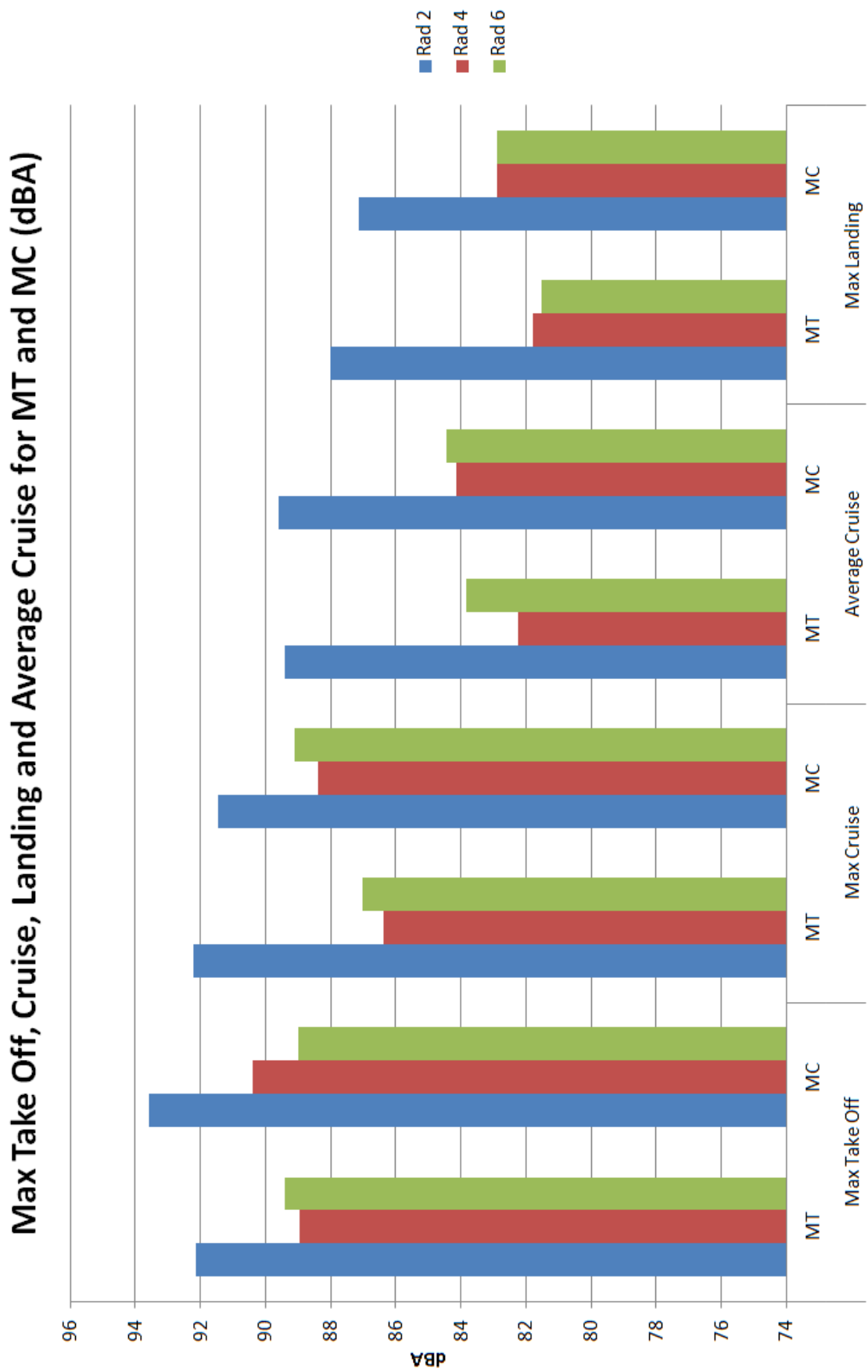
One-third octave band centre frequencies (Hz)

SPL	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
60	0.59	1.00	1.40	1.81	2.08	2.51	2.93	3.26	3.57	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.59	6.01	6.90	7.92	8.49	8.49	7.92	7.39	6.01	4.89
61	0.67	1.10	1.53	1.97	2.26	2.71	3.16	3.51	3.83	4.29	4.29	4.29	4.29	4.29	4.92	6.44	7.39	8.49	9.09	9.09	8.49	7.92	6.44	5.24
62	0.77	1.21	1.66	2.15	2.45	2.93	3.41	3.78	4.11	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	5.28	6.90	7.92	9.09	9.74	9.74	9.09	8.49	6.90	5.61
63	0.87	1.32	1.81	2.34	2.65	3.16	3.69	4.06	4.41	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92	5.66	7.39	8.49	9.74	10.4	10.4	9.74	9.09	7.39	6.01
64	1.00	1.45	1.97	2.54	2.88	3.41	3.98	4.38	4.73	5.28	5.28	5.28	5.28	5.28	6.06	7.92	9.09	10.4	11.2	11.2	10.4	9.74	7.92	6.44
65	1.11	1.60	2.15	2.77	3.12	3.69	4.30	4.71	5.08	5.66	5.66	5.66	5.66	5.66	6.50	8.49	9.74	11.2	12.0	12.0	11.2	10.4	8.49	6.90
66	1.22	1.75	2.34	3.01	3.39	3.98	4.64	5.07	5.45	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06	6.96	9.09	10.4	12.0	12.8	12.8	12.0	11.2	9.09	7.39
67	1.35	1.92	2.54	3.28	3.68	4.30	5.01	5.46	5.85	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.46	9.74	11.2	12.8	13.8	13.8	12.8	12.0	9.74	7.92
68	1.49	2.11	2.77	3.57	3.99	4.64	5.41	5.88	6.27	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	8.00	10.4	12.0	13.8	14.7	14.7	13.8	12.8	10.4	8.49
69	1.65	2.32	3.01	3.88	4.33	5.01	5.84	6.33	6.73	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	8.57	11.2	12.8	14.7	15.8	15.8	14.7	13.8	11.2	9.09
70	1.82	2.55	3.28	4.23	4.69	5.41	6.31	6.81	7.23	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.19	12.0	13.8	15.8	16.9	16.9	15.8	14.7	12.0	9.74
71	2.02	2.79	3.57	4.60	5.09	5.84	6.81	7.33	7.75	8.57	8.57	8.57	8.57	8.57	9.85	12.8	14.7	16.9	18.1	18.1	16.9	15.8	12.8	10.4
72	2.23	3.07	3.88	5.01	5.52	6.31	7.36	7.90	8.32	9.19	9.19	9.19	9.19	9.19	10.6	13.8	15.8	18.1	19.4	19.4	18.1	16.9	13.8	11.2
73	2.46	3.37	4.23	5.45	5.99	6.81	7.94	8.50	8.93	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85	11.3	14.7	16.9	19.4	20.8	20.8	19.4	18.1	14.7	12.0
74	2.72	3.70	4.60	5.94	6.50	7.36	8.57	9.15	9.59	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	12.1	15.8	18.1	20.8	22.3	22.3	20.8	19.4	15.8	12.8
75	3.01	4.06	5.01	6.46	7.05	7.94	9.19	9.85	10.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	13.0	16.9	19.4	22.3	23.9	23.9	22.3	20.8	16.9	13.8
76	3.32	4.46	5.45	7.03	7.65	8.57	9.85	10.6	11.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	13.9	18.1	20.8	23.9	25.6	25.6	23.9	22.3	18.1	14.7
77	3.67	4.89	5.94	7.66	8.29	9.19	10.6	11.3	11.8	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	14.9	19.4	22.3	25.6	27.4	27.4	25.6	23.9	19.4	15.8
78	4.06	5.37	6.46	8.33	9.00	9.85	11.3	12.7	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	16.0	20.8	23.9	27.4	29.4	29.4	27.4	25.6	20.8	16.9
79	4.49	5.90	7.03	9.07	9.76	10.6	12.1	13.0	13.6	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	17.1	22.3	25.6	29.4	31.5	31.5	29.4	27.4	22.3	18.1
80	4.96	6.48	7.66	9.85	10.6	11.3	13.0	13.9	14.6	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	18.4	23.9	27.4	31.5	33.7	33.7	31.5	29.4	23.9	19.4
81	5.48	7.11	8.33	10.6	11.3	12.1	13.9	14.9	15.7	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	19.7	25.6	29.4	33.7	36.1	36.1	33.7	31.5	25.6	20.8
82	6.06	7.81	9.07	11.3	12.1	13.0	14.9	16.0	16.9	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	21.1	27.4	31.5	36.1	38.7	38.7	36.1	33.7	27.4	22.3
83	6.70	8.57	9.87	12.1	13.0	13.9	16.0	17.1	18.1	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	22.6	29.4	33.7	38.7	41.5	41.5	38.7	36.1	29.4	23.9
84	7.41	9.41	10.7	13.0	13.9	14.9	17.1	18.4	19.4	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	24.3	31.5	36.1	41.5	44.4	44.4	41.5	38.7	31.5	25.6
85	8.19	10.3	11.7	13.9	14.9	16.0	18.4	19.7	20.8	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	26.0	33.7	38.7	44.4	47.6	47.6	44.4	41.5	33.7	27.4
86	9.95	11.3	12.7	14.9	16.0	17.1	19.7	21.1	22.4	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	27.9	36.1	41.5	47.6	51.0	51.0	47.6	44.4	36.1	29.4
87	10.0	12.1	13.9	16.0	17.1	18.4	21.1	22.6	24.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	29.0	38.7	44.4	51.0	54.7	54.7	51.0	47.6	38.7	31.5
88	11.1	13.0	14.9	17.1	18.4	19.7	22.6	24.3	25.8	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	32.0	41.5	47.6	54.7	58.6	58.6	54.7	51.0	41.5	33.7
89	12.2	13.9	16.0	18.4	19.7	21.1	24.3	26.0	27.7	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	34.3	44.4	51.0	58.6	62.7	62.7	58.6	54.7	44.4	36.1
90	13.5	14.9	17.1	19.7	21.1	22.6	26.0	27.9	29.7	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	36.8	47.6	54.7	62.7	67.2	67.2	62.7	58.6	47.6	38.7
91	14.9	16.0	18.4	21.1	22.6	24.3	27.9	29.9	31.8	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	39.4	51.0	58.6	67.2	72.0	72.0	67.2	62.7	51.0	41.5
92	16.0	17.1	19.7	22.6	24.3	26.0	29.9	32.0	34.2	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	42.2	54.7	62.7	72.0	77.2	77.2	72.0	67.2	54.7	44.4
93	17.1	18.4	21.1	24.3	26.0	27.9	32.0	34.3	36.7	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	45.3	58.6	67.2	77.2	82.7	82.7	77.2	72.0	58.6	47.6
94	18.4	19.7	22.6	26.0	27.9	29.9	34.3	36.8	39.4	42.2	42.2	42.2	42.2	42.2	48.5	62.7	72.0	82.7	88.6	88.6	82.7	77.2	62.7	51.0
95	19.7	21.1	24.3	27.9	29.9	32.0	36.8	39.4	42.2	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	52.0	67.2	77.2	88.6	94.9	94.9	88.6	82.7	67.2	54.7
96	21.1	22.6	26.0	29.9	32.0	34.3	39.4	42.2	45.3	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	55.7	72.0	82.7	94.9	102	102	94.9	88.6	72.0	58.6
97	22.6	24.3	27.9	32.0	34.3	36.8	42.2	45.3	48.5	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	59.7	77.2	88.6	102	109	109	102	94.9	77.2	62.7
98	24.3	26.0	29.9	34.3	36.8	39.4	45.3	48.5	52.0	55.7	55.7	55.7	55.7	55.7	64.0	82.7	94.9	109	117	117	109	102	82.7	67.2
99	26.0	27.9	32.0	36.8	39.4	42.2	48.5	52.0	55.7	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7	68.6	88.6	102	117	125	125	117	109	88.6	72.0
100	27.9	29.9	34.3	39.4	42.2	45.3	52.0	55.7	59.7	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	73.5	94.9	109	125	134	134	125	117	94.9	77.2
101	29.9	32.0	36.8	42.2	45.3	48.5	55.7	59.7	64.0	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	78.8	102	117	134	144	144	134	125	102	82.7
102	32.0	34.3	39.4	45.3	48.5	52.0	59.7	64.0	68.6	73.5	73.5	73.5	73.5	73.5	84.4	109	125	144	154	154	144	134	109	88.6
103	34.3	36.8	42.2	48.5	52.0	55.7	64.0	68.6	73.5	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8	90.5	117	134	154	165	165	154	144	117	94.9
104	36.8	39.4	45.3	52.0	55.7	59.7	68.6	73.5	78.8	84.4	84.4	84.4	84.4	84.4	97.0	125	144	165	177	177	165	154	125	102
105	39.4	42.2	48.5	55.7	59.7	64.0	73.5	78.8	84.4	90.5	90.5	90.5	90.5	90.5	104	134	154	177	189	189	177	165	134	109
106	42.2	45.3	52.0	59.7	64.0	68.6	78.8	84.4	90.5	97.0	97.0	97.0	97.0	97.0	111	144	165	189	203	203	189	177	144	117
107	45.3	48.5	55.7	64.0	68.6	73.5	84.4	90.5	97.0	104	104	104	104	104	119	154	177	203	217	217	203	189	154	125
108	48.5	52.0	59.7	68.6	73.5	78.8	90.5	97.0	104	111	111	111	111	111	128	165	189	217	233	233	217	203	165	134
109	52.0	55.7	64.0	73.5	78.8	84.4	97.0	104	111	119	119	119	119	119	137	177	203	233	249	249	233	217	177	144
110	55.7	59.7	68.6	78.8	84.4	90.5	104	111	119	128	128	128	128	128	147	189	217	249	267	267	249	233	189	154
111	59.7	64.0	73.5	84.4	90.5	97.0	111	119	128	137	137	137	137	137	158	203	233	267	286	286	267	249	203	165
112	64.0	68.6	78.8	90.5	97.0	104	119	128	137	147	147	147	147	147	169	217	249	286	307	307	286	267	217	177
113	68.6	73.5</																						

Bilaga B – Diagram: Frekvenstoppar i de lägre frekvensbanden för MT samt McCauley



Bilaga C – Diagram: Max Take Off, Cruise, Landing and Average Cruise for MT and McCauley (MC) (dBA)



Bilaga D – Noise measurement record form

FORM COMPLETED BY: _____

Noise measurement record form

Rev 1 26JAN2012

This form is issued in order to be a record of the measured noise levels in the cabin of Direktflygs Jetstream 3200 aircraft. The intent is to find a median and peak value of the noise levels in the A spectrum of sounds (dBA)

The equipment used by Direktflyg for noise measurement is a TES-1350A device.

1. GENERAL INFO

DATE _____ LOCAL TIME _____ FLIGHT No _____

AC REG _____ BLADE TYPE _____ FROM _____ TO _____

SEAT _____ PAX ONBOARD _____

2. dBA peak (Hi, MAX HOLD, A)

Measure whole takeoff and take max value.

TAKE OFF _____

Measure during 5 min of Cruise and take max value

CRUISE _____

Measure during landing and take max value

LANDING _____

3. EGT DURING CRUISE MEASURING

LH ENG _____ RH ENG _____

4. Samples snapshot measurement CRUISE (Hi, S, A)

Value table

dBA	Approx Time	dBA (cont)	Approx Time
	INIT		8 min
	1 min		9 min
	2 min		10 min
	3 min		11 min
	4 min		12 min
	5 min		13 min
	6 min		14 min
	7 min		15 min

Cabin PAX (X for PAX, O for

			R1
			R2
			R3
			R4
			R5
			R6
			R7

5. Sound recording for frequency analysis

Measure during ≈1 min of cruise

FILE NAME _____

RECORDER MODEL _____

FOR NOTES, USE PAGE 2

Bilaga E - Rådata från formulär till decibelmätningar

date	local time	flight	From	To	REG	PROP	SEAT	PAX	Peak dBA Take off	Peak dBA Cruise	Average Cruise	Peak dBA Landing
20120131	06:10	961	BLE	ORB	LHE	MT	2B	6	88,6	93,1	89,7575	90
20120131	06:55	961	ORB	MMX	LHE	MT	2B	14	92,9	90,8	87,2588	92,7
20120131	08:30	962	MMX	ORB	LHE	MT	2B	19	93,7	92,6	90,8313	85,5
20120131	09:50	962	ORB	BLE	LHE	MT	2B	14	93,3	92,5	89,7272	84,1
20120201	06:15	961	BLE	ORB	LHC	McCauley	2B	8	95,4	91,9	88,97	91,1
20120201	06:50	961	ORB	MMX	LHC	McCauley	2B	18	94,6	92	89,3687	85
20120201	08:25	962	MMX	ORB	LHC	McCauley	2B	17	91,1	91,2	88,6875	85,4
20120201	09:49	962	ORB	BLE	LHC	McCauley	2B	12	93,2	90,7	87,34	87,1
20120201	16:20	965	BLE	ORB	LHE	MT	6B	6	88,4	88,3	85	80,2
20120201	17:14	965	ORB	MMX	LHE	MT	6B	11	90	85,9	82,35	83,1
20120201	18:40	966	MMX	ORB	LHE	MT	6B	19	91,1	85,7	83,56	82,1
20120201	20:28	966	ORB	BLE	LHE	MT	6B	9	88,1	88,2	84,46	80,7
20120208	06:05	961	BLE	ORB	LHC	McCauley	6B	9	88,6	89,6	84,13	82,8
20120208	06:50	961	ORB	MMX	LHC	McCauley	6B	15	87,9	88,4	83,48	84,1
20120208	08:30	962	MMX	ORB	LHC	McCauley	6B	11	90,3	89,1	85,42	82,3
20120208	09:50	962	ORB	BLE	LHC	McCauley	6B	5	89,2	89,4	84,67	82,3
20120208	16:30	965	BLE	ORB	LHC	McCauley	4B	7	91,5	90,4	84,6	83,8
20120208	17:03	965	ORB	MMX	LHC	McCauley	4B	14	94,3	86,8	82,47	82,5
20120208	18:30	966	MMX	ORB	LHC	McCauley	4B	16	88,7	87,7	84,4	82,3
20120208	19:54	966	ORB	BLE	LHC	McCauley	4B	13	87	88,7	85,16	82,9
20120216	06:07	961	BLE	ORB	LHE	MT	4B	7	88,1	89,4	82,8	81
20120216	06:52	961	ORB	MMX	LHE	MT	4B	12	88,9	84,6	81,6	83,2
20120216	08:25	962	MMX	ORB	LHE	MT	4B	14	90,1	85,2	82,4	80,5
20120216	09:55	962	ORB	BLE	LHE	MT	4B	5	88,7	86,3	82,2	82,5