



RAPPORT

Handläggare
Elis Johansson
Telefon
+46 10 505 84 22
Mobil
+46701847422
elis.johansson@afconsult.com

Datum
2015-01-27
Projekt ID
Swedavia AB , Martin Wall
Stockholm, Arlanda Airport
190 45 Stockholm - Arlanda

Rapport ID
596976
Kund
Swedavia AB

Göteborg – Landvetter Airport

Mätning av flygbuller 2014



ÅF-INFRASTRUCTURE AB

Handläggare
Elis Johansson

Granskad
Pär Wigholm
Martin Almgren



RAPPORT

Innehåll

1	Bakgrund	3
2	Beskrivning av flygbullermätningar.....	3
2.1	Underlag	4
2.2	Mätningarnas utförande	4
2.3	Mätplats Vrestaby 1:11	4
2.4	Mätutrustning	5
3	Flygvägsuppföljning	6
4	Meteorologi	6
4.1	Väderinformation.....	6
4.2	Meteorologiska krav på mätningarna	6
5	Utvärdering	7
5.1	Utvärdering av ljudnivå för flyggrupper vid startbuller.....	8
6	Mätresultat.....	9
6.1	Resultat startbuller	10
6.2	Resultat landningsbuller	10
7	Mätosäkerhet	11
7.1	Delbidrag med hänsyn till instrumentkedjan	11
7.2	Delbidrag med hänsyn till bakgrundsljud	12
7.3	Delbidrag med hänsyn till ljudnivåers spridning.....	12
7.4	Kombinerad standardosäkerhet.....	12
7.5	Utökad kombinerad standardosäkerhet	12
7.6	Slutlig mätosäkerhet.....	13
8	Kommentarer	14
8.1	Källor till avvikelser mätningar och beräkningar	14
8.2	Kommentarer om starter	15
8.3	Kommentarer om landningar	15
8.4	Om beräkningar	15
9	Slutsatser	16
10	Referenser	16

Bilagor

Bilaga 1	Bilder från mätningen.	sida 17
Bilaga 2	Diagram LASmax vid starter	sida 18
Bilaga 3	Diagram LASmax vid landning	sida 21

RAPPORT



Sammanfattning

Under hösten 2014 genomfördes ljudmätningar söder om flygplatsen Göteborg-Landvetter flygplats. Mätningen utfördes vid fastigheten Vrestaby 1:11 i Härryda kommun (intill den södra utflygningssvågen från flygplatsen). Generellt sett har uppmätta ljudnivåer god överensstämmelse med beräknade ljudnivåer, med avvikelser på som mest ± 2 dB för landningar (förutom typ DH8C) och som mest ± 4 dB för starter.

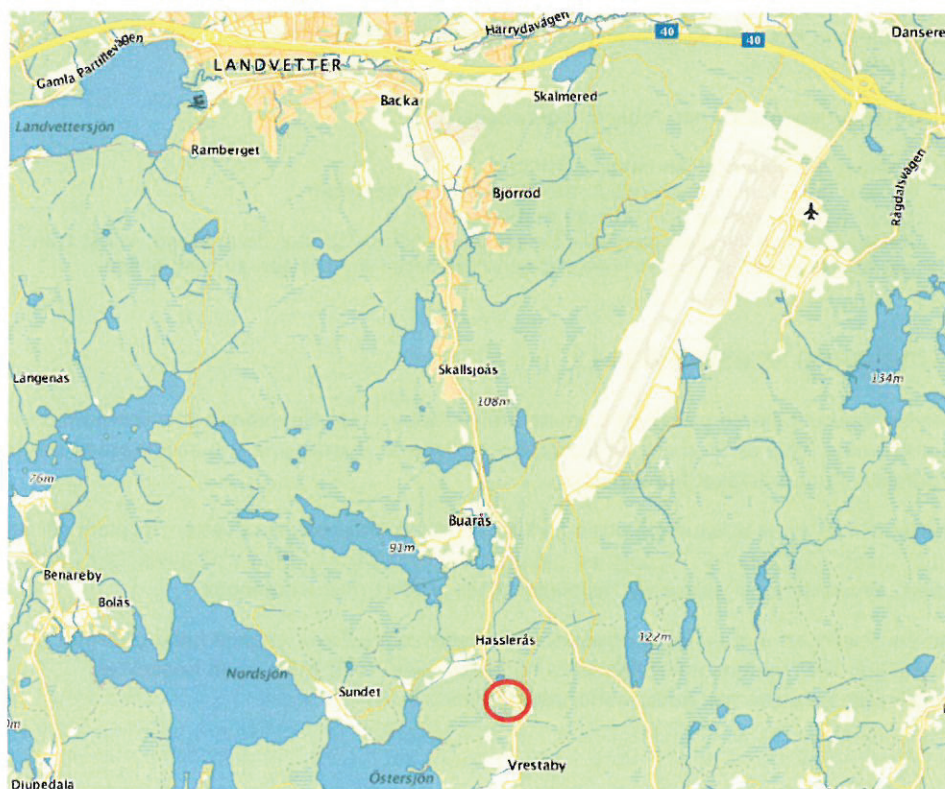
1 Bakgrund

Swedavia AB Göteborg-Landvetter Airport ska, enligt kontrollprogram, årligen utföra ljudmätningar närheten av flygplatsen.

Syftet med mätningarna är att kontrollera hur aktuella bullerberäkningar¹ stämmer överens med den uppmätta bullerexponeringen. Både starter och landningar är intressanta och mätbara vid mätplatsen i Vrestaby.

2 Beskrivning av flygbullermätningar

Uppdraget omfattar mätning av maximal ljudnivå², L_{ASMax} , enligt mätstandard ISO 20906, se referens (1) och (2). Mätningarna har utförts under perioden augusti-november 2014. Mätning har utförts i en mätpunkt sydväst om flygplatsen vid fastigheten Vrestaby 1:11 i Härryda kommun, enligt figur 1 nedan.



Figur 1. Översiktsbild med inringad mätpunkt

¹ Bullerberäkningar utförs enligt den beräkningsmodell för flygbuller som fastställts av Forsvarsmakten, Naturvårdsverket och Transportstyrelsen.

² Med maximal ljudnivå avses den högsta ljudnivån under t ex en flygplanspassage.



RAPPORT

2.1 Underlag

Swedavia AB har tillhandahållit uppgifter om aktuella starter och landningar under mätperioden avseende bana, flygplanstyp och tidpunkt.

Swedavia AB har även tillhandahållit uppgifter om beräknad maximal ljudnivå för olika normerande flygplanstyper i aktuell mätpunkt. Beräknade värden har erhållits vid landning för de 10 st vanligaste flygplanstyperna och vid start för grupp 1-4, dvs grupp 5 har inte beräknats för starter eftersom flyggruppen består av mängd olika och skiftande flygtyper vilket gör jämförelse svår. Mätvärden har analyserats tillsammans med underlag från Swedavia och medelvärdet av maximal ljudnivå (L_{A5max}) har bestämts för olika flygplansgrupper under mätperioden.

2.2 Mätningarnas utförande

Mätningarna har utförts obebakade under perioden augusti till november 2014.

Mätstationen har kontinuerligt lagrat ljudnivåer i mätpunkten. Uppgifter om tidpunkter för händelser med flygpassage nära mätpunkten har använts för att synka händelse med uppmätt ljudnivå.

För att undvika ovidkommande bakgrundsljud och enbart använda händelser som härrörs till flygbuller har en triggernivå används till att lagra lyssningsbara ljudfiler. De lyssningsbara ljudfilerna kan användas för de fall där tveksamhet förekommer om bullerkällan är ett flygplan eller inte.

Använd mätutrustning har registrerat passager av startande och landande flygplan med maximal ljudnivå i dBA med tidsvägning Slow i dBA för varje passage. Mätstandarden ISO 20906 (1) har använts i tillämpliga delar.

Mätplatsen är vid en bostad med följande egenskaper:

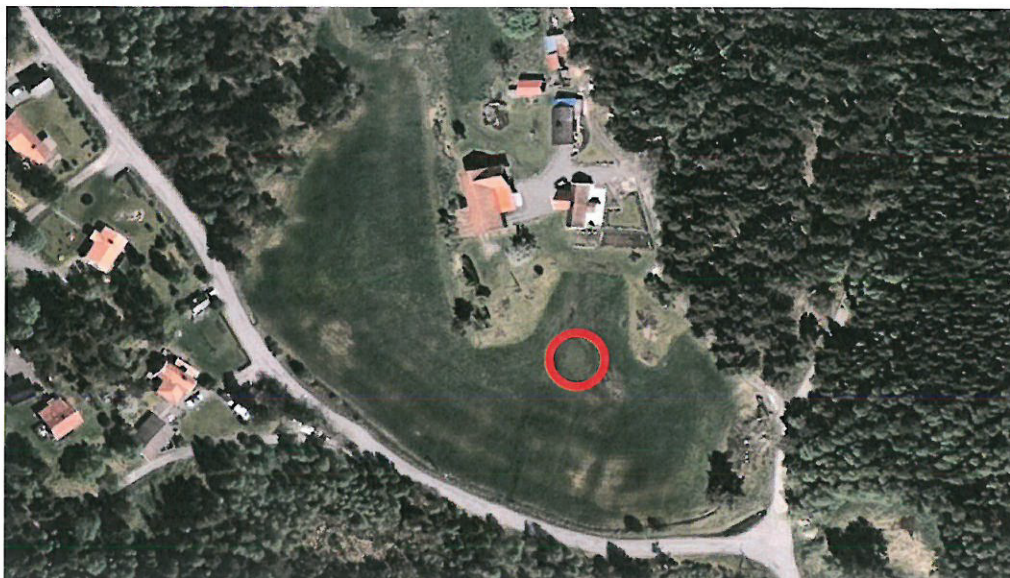
- Relativt låg ljudnivå från bakgrundsljudet.
- En stor öppen, äng med endast fåtal fastigheter i närheten.
- Liten risk för åverkan och stöld av mätinstrument
- Relativt många flygplanspassager för att ge en tillräckligt stor datamängd, vilket i sin tur ger ett statistiskt säkerställt resultat och minimerar spridningen av mätvärden.

2.3 Mätplats Vrestaby 1:11

Figur 2 visar mer detaljerad placering av mätplats Vrestaby 1:11. Mikrofonen är placerad 6,5 m över marken med hjälp av en mast, se fotografier i Bilaga 1. Mikrofonmasten är placerad i mitten av ett gräsfält. Runt gräsfältet finns lövskog.

Mätpunktens läge under utflygningsrutten från bana 21 vid Göteborg-Landvetter flygplats gör att platsen är utsatt för flygbuller. Flygplanen passerar över mätplatsen med små avvikelser i höjd och sidled. Avvikelserna är större vid flygplansstarter jämfört med landningar.

Det kan vara svårt att mäta flygplansljud utomhus, eftersom ovidkommande bakgrundsljud (t.ex. vegetationsljud eller fordonstrafik) kan störa ljudmätningen. Inför mätningen bedömdes mätplatsen som en plats med goda mätförutsättningar.



Figur 2. Mätpunkt vid fastigheten Vrestaby1:11

Mätutrustningen har varit vid fastigheten från 2014-08-14 till 2014-11-20. Perioden är ca 14 veckor. Vid några tillfällen har mätningen avbrutits. Första gången detta inträffade var den 6:e september, anledningen var ett strömavbrott i fastigheten. Vid några andra tillfällen har utrustningen drabbats av strömavbrott av oförklarliga skäl. Troligtvis har den aktuella mätaren (Nor140, intern beteckning AL167) haft ett dåligt internt batteri. Därför byttes mätaren (2014-10-10) till en likvärdig ljudnivåmätare (Nor140, intern beteckning AL172).

Totalt har ljudnivåmätaren varit avstängd ca 5 veckor pga. strömavbrott, vilket gör att den totala tid som kan utvärderas är ca 9 veckor. Innan mätningen startade var kortast planerad mättid 8 veckor, vilket därmed uppfylls.

2.4 Mätutrustning

I samband med mätningar har följande utrustning använts:

Tabell 1: Mätutrustning i samband med ljudmätningar 2013

Benämning	Fabrikat	Typ	Intern beteckning	Datum för senast kalibrering	Mätperiod
Analysator	Norsonic	140	AL 167	2014-05-06	2014-08-14 till 2014-10-10
Analysator	Norsonic	140	AL 172	2013-12-17	2014-10-10 till 2014-11-20
Mikrofon	BSWA	MP201	M255	2014-02-24	2014-08-14 till 2014-11-20
Förförstärkare	BSWA	MA201	MK107	2014-02-24	2014-08-14 till 2014-11-20

Mätinstrumenten är kalibrerade med spårbarhet till nationella och internationella referenser enligt vår kvalitetsstandard som uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025. Datum för senaste kalibrering finns även angiven i vår kalibreringslogg.

Ljudnivåmätaren har varit inställd på att kontinuerligt göra inspelning av ljudnivådata. Även lyssningsbara ljudfiler har registrerats av ljudnivåmätaren, men för att inte fylla minneskortet har endast tillfällen med ljudnivå (L_{Aeq}) högre än 50 dB registrerats i 60 sekunder per lyssningsbar ljudfil. Anledningen till att även registrera lyssningsfiler är att underlätta eventuellt felsökningsarbete då ovidkommande ljud kan ha påverkat mätningen.



RAPPORT

3 Flygvägsuppföljning

Swedavia Konsult har förmedlat information om alla starter och landningar under perioden från 2014-08-14 till 2014-11-20 via deras flyguppföljningssystem kallat ANOMS³. De parametrar som angivits i de s.k. "radarspåren" är:

- Tid för start respektive landning vid flygplats Göteborg-Landvetter
- Tid då flyget är vid närmaste punkt för passage intill mätplats mätpunkten Vrestaby 1:11
- Avstånd till mätpunkt vid närmaste punkt för passage till mätplats Vrestaby 1:11
- Uppgift om flygplanstyp för respektive rörelse
- Landning-/startbana för respektive rörelse
- För starter: Grupperingslistor

4 Meteorologi

4.1 Väderinformation

Swedavia har förmedlat väderinformation (METAR) indelat i 30 minuters intervall under mätperioden. Följande uppgifter har erhållits:

- Vindriktning och vindstyrka
- Lufttemperatur och daggpunkt
- Förekomst av nederbörd
- Siktförhållanden

4.2 Meteorologiska krav på mätningarna

Mätstandarden ISO 20906 ställer fåtal krav på meteorologin under mätningarna.

Följande villkor skall uppfyllas vid varje mätning för att mätresultatet skall ingå i den slutliga analysen.

- Vindhastighet på mer än 10 m/s ska "flaggas"

³ Airport Noise and Operation Monitoring System



RAPPORT

5 Utvärdering

För att kunna koppla samman ett mätvärde med en viss passage av ett flygplan har resultatet från flygbullermätningarna jämförts med flygspår från flygplatsens flygvägsuppföljningssystem. Tiden för passage över mätpunkt samt en studie över ljudnivåvariationen för mätvärdet vid den passagen har varit den huvudsakliga jämförelseparametern men vid tveksamheter har det även funnits möjligheter att kunna lyssna på en ljudfil för att avgöra om ljudet härrör från en flygpassage eller inte.

Totalt antal flygrörelser under mätperioden före väderkorrigering var 5634 st. I följande tabell redovisas antalet flygrörelser som kunnat utvärderas under mätperioden

Tabell 2. Antal rörelser under mätperioden

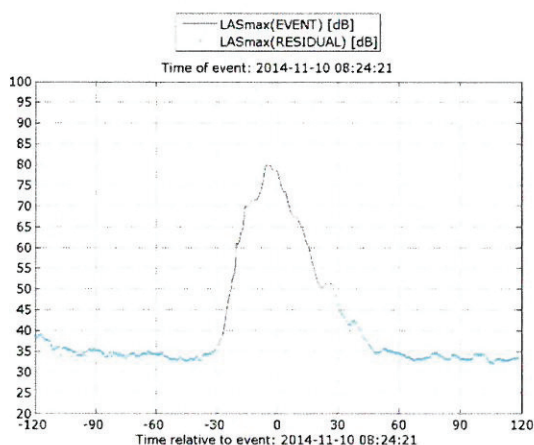
	Totalt	Godkända	
Landningar	1862	1366	[st]
Starter	3772	3296	[st]

Totalt har 4662 st flygrörelser (som uppfyller meteorologiska krav enligt kap 5.5.2) sammanställts för mätperioden. Både landningar och starter har utvärderats.

Förutom de meteorologiska kraven på mätningarna enligt använda mätstandarder skall även mätningar av bullerhändelser upprepas och ljudnivån i dBA medelvärdesbildas aritmetiskt.

Uppgifter om tidpunkt då flyg passerat vid mätpunkten har använts till att utvärdera ljudnivåerna. För varje tidpunkt av flygpassage har ett tidsfönster använts för att representera ljudnivån av flygpassagen. Längden på tidsfönstret har satts till 30 sekunder före respektive efter aktuell tidpunkt för passage.

På samma sätt bestäms bakgrundsljudet (eng. residual sound) vid varje passage där tidsfönstret är satt till 30-120 sekunder före respektive efter aktuell tidpunkt för passage. Med andra ord betyder det att en period om 90 sekunder före och efter men inte själva flygbullerhändelsen används för att bestämma bakgrundsljudet. Bilden nedan illustrerar ett exempel på utvärdering av ljudnivåer vid en bullerhändelse.



Figur 3. Exempel på ljudnivå vid flygpassage vid Vrestaby och utvärdering av flygbuller, L_{ASmax} (Event), och bakgrundsljud, L_{ASmax} (residual). Bullerhändelsen är från 10 november kl 08:24 för flight no NAX74F med flygtypen B738. Y-axeln visar ljudnivå L_{ASmax} [dB] och X-axeln visar tid i sekunder relativ tid för passage.

Den statistiska analysen har gjorts enligt standard ISO 20906 (1) och ISO/IEC Guide 98-3 (3) genom att jämföra standardavvikelse av uppmätta ljudnivåer och antalet mätningar, detta redovisas i kapitel 7. Här redovisas även en kombinerad och utökad mätosäkerhet med konfidensintervall (95%), tillsammans standardavvikelsen.



RAPPORT

För starter sorteras ljudnivåerna i flygplansgrupper. Justering sker för flygplanets höjd ovan mark. Skillnader mellan uppmätta och beräknade ljudnivåer redovisas. Redovisning sker av aritmetiskt medelvärde och standardavvikelse mellan beräknade och uppmätta ljudnivåer.

För landningar sker ingen sortering av uppmätta ljudnivåer i flygplansgrupper. Istället sker redovisning för de 10 st flygplanstyperna som varit vanligast under den aktuella mätperioden.

Inga justeringar av registrerade ljudnivåer har gjorts i efterhand.

5.1 Utvärdering av ljudnivå för flyggrupper vid startbuller

Göteborg-Landvetter flygplats trafikeras av ett antal olika flygplanstyper. En gruppering av flygplanstyperna vid startbuller har utförts i enlighet med den gruppering som har tillhandahållits av Swedavia och redovisas i tabell 3 nedan. Starterna har grupperats på det sätt som Swedavia nu ansöker om i det nya miljötillståndet. Skillnaden mellan beräknad och uppmätt ljudnivå representerar därför den väntade differensen mot 70 dB(A) som kan väntas om Swedavias villkorsförslag blir fastställt.

Tabell 3. Registrerade flygplanstyper som uppfyller utvärderingskrav och de flygplanstyper som används vid beräkningar (normerande flygplanstyper)

	Registrerade typer som uppfyller utvärderingskrav:	Normerande flygplanstyper
Grupp 1 - Propellerflygplan	AN26, AT72, AT73, AT75, ATP, BE20, BE9L, C182, D328, DH8A, DH8C, DH8D, F406, F50, JS32, PA31, SF34, SW3	Fokker 50 (F50)
Grupp 2 - Små jetflyg	B462, B463, C25A, C525, C550, C56X, CRJ7, CRJ9, E135, E145, E190, F70, FA7X, J328, LJ45, RJ1H, RJ85	Fokker 70 (F70)
Grupp 3 - Mellanstora jetflyg	A319, A320, A321, B712, B733, B734, B735, B736, B737, B738, B739, B752	Boeing 737-800 (B738)
Grupp 4 - Stora jetflyg	A124, A306, A310, A332, A333	Boeing 747-400 (B747)
Grupp 5 - Övriga	AN26, B350, B763, E170, E55P, H25B, LJ35, MD87, SW4	I gruppen "Övriga" återfinns de flygplanstyper vars ljudnivå inte har varit möjlig att beräkna eller de flygplanstyper som viktmässigt passar in i en klass men som på grund av flygplanets bulleregenskaper inte passar in i den klassen. Dessa flygplan jämförs därför inte med något beräknat värde.



6 Mätresultat

Medelvärde för respektive flygplansgrupp för starter har i enlighet med mätstandarden sammanställts förutsatt att registreringar skett för tre händelser eller fler. På samma sätt bestäms medelvärdet för de 10 st vanligaste flygplanstyperna vid landning. Mätresultaten är tabellerade med maximal ljudnivå dBA i tidsvägning Slow i dBA.

Vid startbuller har passagera sorterats i grupper 1-5. Vid landningsbuller har passagera sorterats för de 10 st. vanligaste flygtyperna.

Här förklaras rubrikerna i tabellerna:

Antal passager: Antalet passager inom grupp eller typ som uppfyller utvärderingskrav

Medelmax: Beskriver aritmetiskt medelvärde av uppmätta maximala ljudtrycksnivåer.

Beräknad L_{ASmax} : Beräknad ljudnivå för respektive grupp eller flygtyp utan decimaler. Värdena har tillhandahållits av Swedavia AB.

Skillnad mellan uppmätt och beräknad L_{ASmax} : Beräknad ljudnivåskillnad enligt principen
 $L_{p,uppmätt} - L_{p,beräknat} = L_{p,skillnad}$

(Tabell 3 anger de normerande flygplanstyper som beräknats för varje startgruppsnummer.)

Medelavstånd: Anger medelvärdet av "PCA Dist" (avståndet mellan mätpunkt och flygplan vid tidpunkt för passage) för den aktuella gruppen eller typen. Värden för PCA Dist har tillhandahållits av Swedavia AB.

I tabeller nedan redovisas vissa nivåer/avvikelser med en decimal, detta görs enbart för att tydliggöra standardavvikelser. Normalt redovisas flygbullernivåer utan decimal då mätnoggrannheten inte är så exakt att mätvärden kan anges med decimal. Beräkningarna är utförda på olika sätt vad gäller start och landning. För starter görs beräkningar inom de 5 st. grupper som redovisats tidigare och för landningar görs beräkning för de 10 st vanligaste flygtyperna oberoende av grupp.

Resultatet visas även som figurer för respektive grupp eller flygtyp i bilagor sist i denna rapport. Figurer för starter redovisas i Bilaga 2 och för landning i Bilaga 3.



RAPPORT

6.1 Resultat startbuller

I tabellerna nedan redovisas resultatet från mätning av startbuller. Flygpasagerarna har sorterats i grupper 1-5.

Tabell 4. Resultat vid starter

Representant	Antal passager	Medelmax L_{ASmax}	Beräknad L_{ASmax}	Skilnad mellan uppmätt och beräknad L_{ASmax} :	Medelavstånd
Enhet	[st]	[dB]	[dB]	[dB]	[km]
Grupp 1	283	66	70,3	-4	0,768
Grupp 2	1059	75	75,0	0	0,693
Grupp 3	1844	77	80,7	-3	0,638
Grupp 4	28	81	79,2	1	0,739
Grupp 5	82	76	-	-	0,785

6.2 Resultat landningsbuller

I tabellen nedan redovisas resultatet från mätning av landningsbuller. Flygpasagerarna har sorterats i de 10 st vanligaste flygplanstyperna under mätperioden.

Tabell 5. Resultat vid landning

Representant	Antal passager	L_{ASmax}	Beräknad L_{ASmax}	Skilnad mellan uppmätt och beräknad L_{ASmax} :	Medelavstånd
Enhet	[st]	[dB]	[dB]	[dB]	[km]
Flygtyp: DH8C	71	71	61,0	10	0,403
Flygtyp: CRJ9	79	69	68,4	1	0,403
Flygtyp: B736	81	72	73,0	-1	0,401
Flygtyp: A321	92	71	71,1	0	0,397
Flygtyp: A319	100	72	69,8	3	0,400
Flygtyp: B737	111	72	73,0	-1	0,398
Flygtyp: A320	125	71	69,7	1	0,400
Flygtyp: E190	186	72	70,9	1	0,404
Flygtyp: RJ1H	210	69	70,9	-2	0,406
Flygtyp: B738	311	73	73,2	0	0,402



RAPPORT

7 Mätosäkerhet

Resultatet av mätningarna är belagd med osäkerheter som har sitt ursprung i osäkerheter och variationer i omgivningen, väderförhållanden, mättiden och mätsystemet. Som föreslaget i ISO20906 (1) kan osäkerheten bedömas genom annex B. Grundbedömningen till osäkerhetsanalysen hämtas från ISO/IEC Guide 98-5 (3).

Ljudnivån vid en enskild passage med hänsyn till osäkerheten $L_{E,A,i}$ kan beskrivas som en summa av följande delar enligt formel B.1:

$$L_{E,A,i} = L_{E,A,i,meas} + \delta_{slm} + \delta_{residual}$$

Där delarna förklaras:

Tabell 6. Delbidrag enligt formel B.1

Del	Förklaring
$L_{E,A,i,meas}$	Ljudnivå för enskild händelse (rörelse)
δ_{slm}	Delbidrag med hänsyn till instrumentkedjan
$\delta_{residual}$	Delbidrag med hänsyn till påverkan av bakgrundsljud vid enskild händelse (rörelse)

7.1 Delbidrag med hänsyn till instrumentkedjan

Enligt ISO20906 kan delbidraget med hänsyn till instrumentkedjan beskrivas enligt formel B.2:

$$\delta_{slm} = \delta_{mic} + \delta_A + \delta_{lin} + \delta_V + \delta_P + \delta_T + \delta_{RH} + \delta_{calref} + \delta_{calop}$$

Värdet på delarna uppskattas i ISO20906 och i tabellen nedan förklaras delarna tillsammans med respektive bidrag.

Varje delbidrag har en tillhörande osäkerhet, u , t.ex. u_{mic} , u_A osv

Den kombinerade osäkerheten u_{slm} för delbidraget δ_{slm} beräknas som roten ur summan av alla u_i^2 på följande sätt:

$$u_{slm} = \sqrt{u_{mic}^2 + u_A^2 + u_{lin}^2 + u_V^2 + u_P^2 + u_T^2 + u_{RH}^2 + u_{calref}^2 + u_{calop}^2}$$

Tabell 7. Delbidrag enligt formel B.2

Del	Förklaring	Värde på osäkerheten, u
δ_{mic}	Delbidrag med hänsyn till mikrofonens respons, direktivitet, förstärkare, vindsydd och använda tillbehör.	$u_{mic} = 0,39$ dB för $\theta \leq 30^\circ$ <i>eller</i> $u_{mic} = 0,58$ dB för $\theta \leq 90^\circ$
δ_A	Delbidrag med hänsyn till A-vägning	$u_A = 0,39$
δ_{lin}	Delbidrag med hänsyn till ljudnivåns linjäritet	$u_{lin} = 0,31$
δ_V	Delbidrag med hänsyn till varierande spänningsmatning	$u_V = 0,04$
δ_P	Delbidrag med hänsyn till omgivande lufttryck	$u_P = 0,16$
δ_T	Delbidrag med hänsyn till variationer i lufttemperaturen	$u_T = 0,19$
δ_{RH}	Delbidrag med hänsyn till variationer i luftfuktigheten	$u_{RH} = 0,19$
δ_{calref}	Delbidrag med hänsyn till kalibrering vid referensförhållanden	$u_{calref} = 0,16$
δ_{calop}	Delbidrag med hänsyn till kalibrering vid driftförhållanden	$u_{calop} = 0,16$

Detta ger en osäkerhet för:

$$u_{slm} = 0,86 \text{ dB för } \theta \leq 90^\circ \text{ (gäller oftast för starter)}$$

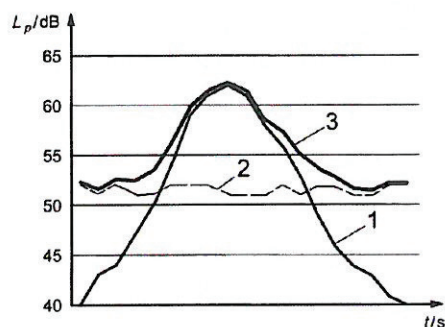
$$u_{slm} = 0,74 \text{ dB för } \theta \leq 30^\circ \text{ (gäller oftast för landning)}$$



RAPPORT

7.2 Delbidrag med hänsyn till bakgrundsljud

Bakgrundsljud (eng. residual sound) som finns vid mätplatsen har påverkat mätresultatet och ger ett bidrag om ΔL_p till den redovisade ljudnivån. Figuren nedan är ifrån standard ISO20906 och ger exempel på ett möjligt fall där olika ljudbidrag illustreras.



Figur 4. Figur B.1 från ISO20906 som beskriver ett exempel på olika ljudnivåer, 1- flygplansljud, 2-bakgrundsljud och 3-uppmätt ljudnivå.

Ljudbidraget, ΔL_p , kan bestämmas då flygplansljudet är högre än bakgrundsljudet, vilket generellt uppfylls i de flesta fall vid en mätplats. I fallet med mätningen hösten 2014 i Vrestaby är flygplansljudet 10 dB över bakgrundsljudet, när skillnaden är som minst. I de flesta fall är skillnaden mellan 30-40 dB. Ljudbidraget, ΔL_p , bestäms genom följande formel:

$$\Delta L_p = -10 \lg[1 - 10^{-0,1(L_{p,meas} - L_{p,residual})}] \text{ dB}$$

Redovisade ljudnivåer som uppmätts vid Vrestaby har inte korrigerats för bakgrundsljud, vilket därmed innebär att redovisade uppmätta ljudnivåer överskattar de egentliga ljudnivåerna från flygplansljudet. Bakgrundsniån är dock mycket lägre än uppmätt ljudnivå från passage och korrekturen kan försummas.

7.3 Delbidrag med hänsyn till ljudnivåers spridning

Redovisade ljudnivåers spridning beskrivs av standardavvikelsen som i sig är en osäkerhet. Standardavvikelsen beräknas för respektive flygplanstyp eller flygplansgrupp enligt formeln:

$$\text{std}(L_p) = \frac{\sqrt{\frac{\sum(L_{ASmax} - \bar{L}_{ASmax})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum(L_{ASmax} - \bar{L}_{ASmax})^2}{n * (n-1)}}$$

Tabell 8. Delbidrag i utvärdering av standardavvikelsen

Del	Förklaring
L_{ASmax}	Uppmätt ljudnivå
\bar{L}_{ASmax}	Aritmetiskt medel av uppmätt ljudnivå
n	Antalet passager som utvärderats inom gruppen/typen

7.4 Kombinerad standardosäkerhet

Och sist erhålls den kombinerade standardosäkerheten för alla delar, enligt:

$$u_c = \sqrt{u_{stm}^2 + \Delta L_p^2 + \text{std}(L_p)^2}$$

7.5 Utökad kombinerad standardosäkerhet

Konfidensintervallet bestäms genom att multiplicera osäkerheten u_c med faktorn $k = 1,96$ för konfidensintervallet 95% som förutsätter normalfördelning.

$$KI = u_c * 1,96$$

KI kallas även "utökad kombinerad standardosäkerhet".

RAPPORT



7.6 Slutlig mätosäkerhet

Den slutliga kombinerade mätosäkerheten, U_c , redovisas i tabellerna nedan tillsammans med konfidensintervall, KI 95%, som är en utökad kombinerad mätosäkerhet.

Tabell 9. Mätosäkerheter med olika delbidrag för flygplansgrupper vid starter

Representant	Antal passager	U_{slm}	ΔLp	Std(Lp)	U_c	KI 95%
Enhet	[st]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Grupp 1	283	0,86	2,40E-03	0,17	0,87	1,71
Grupp 2	1059	0,86	3,46E-04	0,09	0,86	1,69
Grupp 3	1844	0,86	2,09E-04	0,05	0,86	1,68
Grupp 4	28	0,86	1,10E-04	0,56	1,02	2,00
Grupp 5	82	0,86	3,38E-04	0,51	1,00	1,96

Tabell 10. Mätosäkerheter med olika delbidrag för flygplansgrupper vid landningar

Representant	Antal passager	U_{slm}	ΔLp	Std(Lp)	U_c	KI 95%
Enhet	[st]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Flygtyp: DH8C	71	0,74	9,60E-04	0,34	0,81	1,59
Flygtyp: CRJ9	79	0,74	1,56E-03	0,12	0,75	1,47
Flygtyp: B736	81	0,74	5,66E-04	0,23	0,77	1,51
Flygtyp: A321	92	0,74	5,44E-04	0,18	0,76	1,49
Flygtyp: A319	100	0,74	5,81E-04	0,29	0,79	1,56
Flygtyp: B737	111	0,74	5,73E-04	0,14	0,75	1,47
Flygtyp: A320	125	0,74	7,36E-04	0,17	0,76	1,48
Flygtyp: E190	186	0,74	6,40E-04	0,10	0,75	1,46
Flygtyp: RJ1H	210	0,74	1,29E-03	0,10	0,75	1,46
Flygtyp: B738	311	0,74	5,61E-04	0,09	0,74	1,46



RAPPORT

8 Kommentarer

8.1 Källor till avvikelser mätningar och beräkningar

Bakgrundsljudnivån bör enligt standard ISO 20906 vara mindre än 15 dB under uppmätta nivåer från flygplansbullret. Är skillnaden mindre än 15 dB minskar resultatens pålitlighet. Vid aktuell mätplats har detta uppfyllts för de flesta passager. Flygpasagerarna har registrerats med 30-40 dBA högre maximala ljudnivåer jämfört med ljudnivåer från naturligt vegetationsbrus på mätplatsen.

Vid utvärderingen har maximala ljudnivåer i samband med flygpasager utvärderats genom tidssynkning mellan ljudnivåmätare och tidpunkter för passage. Påverkan från andra bakgrundskällor så som vegetationsbrus på flygpasagerarnas ljudmätningar bedöms obetydliga.

Väder och vind har betydelse när man jämför beräkningar och mätningar. I detta fall är mätningarna oövakade, vi följer väder och vind 2 ggr/timme under hela mätperioden. Denna information gör att väderförutsättningarna vid mätplatsen vid varje flygpassage anges till närmaste halvtimmessvärde vid Landvetter flygplats. I utvärderingen har vi varit konservativa och tagit bort mätvärden där närmaste halvtimmessinformation redovisar icke godkända väderförutsättningar.

Beräkningarna är gjorda med en flygplanspassage där flygplanet exakt följer flygvägen. I verkligheten finns en liten spridning där flygplanen avviker något i höjd- och sidled från nominell flygväg. Beräkningarna tar även hänsyn till omgivningens topografi. I aktuellt fall är skillnaden i marknivå mellan landningsbana och mätplats mindre än 50 m. Redovisade ljudnivåer för startbuller har justerats med avseende på spridningen i avstånd. Ljudnivån har justerats med antagandet om sfärisk ljudutbredning (geometrisk divergens) till medelavståndet för gruppen eller flygtypen.



RAPPORT

8.2 Kommentarer om starter

Generellt sett överskattar Swedavias gruppindelning ljudnivåerna på mark och för grupperna 1-3 är uppmätta ljudnivåer lägre än (eller lika med) beräknade ljudnivåer. Dessa grupper står för 97 % av alla utvärderade passager vid startbullen. För flyggruppen 4 är uppmätta värden högre än beräknade, men antalet starter inom grupperna är väldigt få så det är svårt att dra säkra slutsatser. Bäst överensstämmelse har vi för grupp 2, där skillnaden mellan beräknad och uppmätt är 0dB.

Störst skillnad mellan uppmätt och beräknat erhålls för flyggrupp 1. Sett till absoluta ljudnivåer får även grupp 1 lägst uppmätta ljudnivåer. Sammanfattning redovisas i tabellen nedan.

Tabell 11. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade ljudnivåer för starter

Jämförelse mellan uppmätta och beräknade ljudnivåer (L _{ASmax}):	Flyggrupp
Uppmätta nivåer lägre än eller lika med beräknade	1-3
Uppmätta nivåer högre än beräknade	4
Bäst överensstämmelse mellan uppmätt och beräknad ljudnivå	2
Störst skillnad mellan uppmätt och beräknad ljudnivå	1

8.3 Kommentarer om landningar

För hälften av de 10st flygtyperna är uppmätta ljudnivåer högre än beräknade ljudnivåer. De typer som avviker mest är DH8C (uppmätt ljudnivå högre än beräknat) och RJ1H (uppmätt ljudnivå lägre än beräknat). De flygtyper där uppmätta ljudnivåer är lägre eller lika med beräknade står för ca 58 % av totala antalet flygpasager bland de 10st vanligaste som utvärderats. Bäst överensstämmelse mellan uppmätt och beräknat erhålls för flygtyp B738, som också är den vanligaste typen.

Tabell 12. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade ljudnivåer för landningar bland de 10st vanligaste flygtyperna

Jämförelse mellan uppmätta och beräknade ljudnivåer (L _{ASmax}):	Flygtyp
Uppmätta nivåer lägre än eller lika med beräknade	A321, B736, B737, B738, RJ1H
Uppmätta nivåer högre än beräknade	A319, A320, DH8C, E190,CRJ9
Bäst överensstämmelse mellan uppmätt och beräknad ljudnivå	B738
Störst skillnad mellan uppmätt och beräknad ljudnivå	DH8C

8.4 Om beräkningar

Beräkningarna utförs enligt det kvalitetsäkringsdokument som är framtaget av transportstyrelsen, försvarsmakten och Naturvårdsverket, se referens (4). I det aktuella fallet för mätpunkten Vrestaby 1:11 är skillnaderna mellan beräknat och uppmätt värde mindre vid landningar än vid starter, om man bortser från flygtypen DH8C. Genom att jämföra uppmätta ljudnivåer med beräknade ljudnivåer erhålls en sorts kontroll av beräkningarna. Beräkningarna finns till för att uppskatta verkliga ljudnivåer. Generellt sett så har vi god överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade ljudnivåer, både för landningar och för starter. Beräkningarna uppskattas bättre ju fler godkända flygrörelser som kan utvärderas, vilket också borde ge teoretiskt lägre standardavvikelser.

I detta fall utförs ingen beräkning av ljudnivå för starter för grupp 5. Anledningen är att gruppen innehåller mängd olika flygtyper och det är svårt att få ett rättvist värde på gruppen. Grupp 5 tillhör endast 2 % av antalet utvärderade starter.

En flygtyp som vid landning visar på stor avvikelse mellan uppmätt och beräknat värde är flygtyp DH8C, men även här utgör flygtypen en liten del av antalet utvärderade landningar, endast 5 %.

Beräkningar följer internationella standardmetoder och håller hög kvalitet då skillnaden gentemot uppmätta värden generellt sett är liten (inom några decibel). Spridning i meteorologi, ljudkällans typ, hastighet och avstånd till mätplatsen är avgörande vid utförande av beräkningarna.



RAPPORT

9 Slutsatser

Generellt sett har det ljud som mätts upp samma ljudnivå som de beräknade ljudnivåerna, med avvikelser på som mest ± 3 dB för landningar (förutom typ DH8C) och som mest ± 4 dB för starter. Därmed uppnås generellt sett en god överensstämmelse mellan mätningar och beräkningar.

10 Referenser

1. **International Organization for Standardization.** *ISO 20906:2009(E) Acoustics – Unattended Monitoring of Aircraft Sound in the Vicinity of Airports.* u.o. : ISO, 2009.
2. —. *ISO 20906:2009(E) Acoustics – Unattended Monitoring of Aircraft Sound in the Vicinity of Airports - Amendment 1 (ISO 20906:2009/Amd1:2013).* u.o. : ISO, 2013.
3. **International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission.** *ISO / IEC Guide 98:3. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995),* u.o. : ISO / IEC, First ed. 2008, corrected version 2010.
4. **Försvarmakten, Naturvårdsverket, Transportstyrelsen.** *Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar: Underlag för en enhetlig tillämpning.* 2011-10-31.



Bilaga 1. Bilder från mätningen.



Figur 5. Mätpunkt intill Vrestaby 1:11. Nordlig fotoriktning. Fototillfälle: 2014-08-14

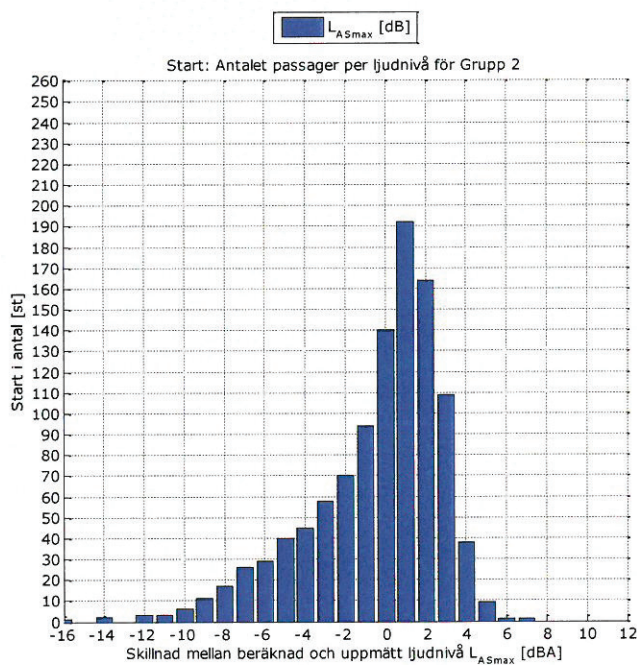
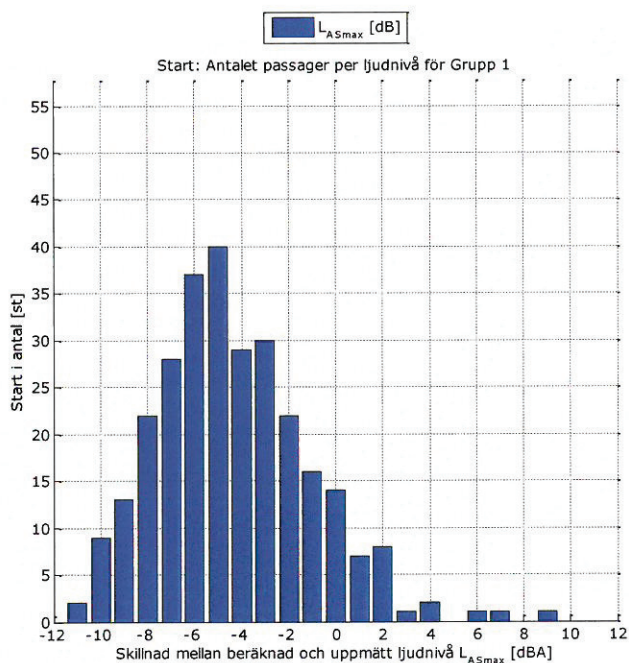


Figur 6. Mätpunkt intill Vrestaby 1:11. Sydlig fotoriktning. Fototillfälle: 2014-08-14

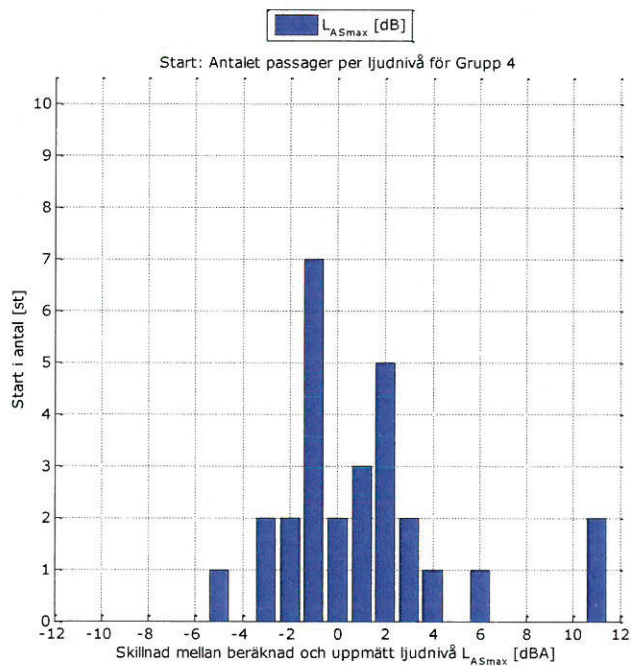
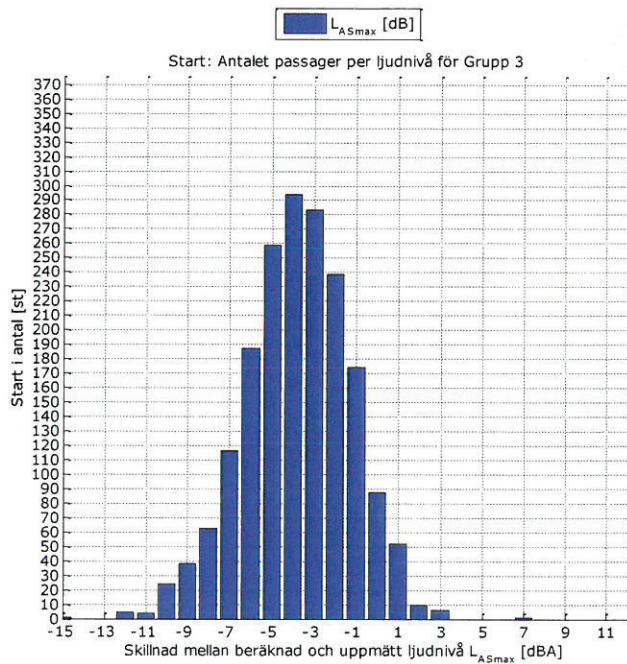


RAPPORT

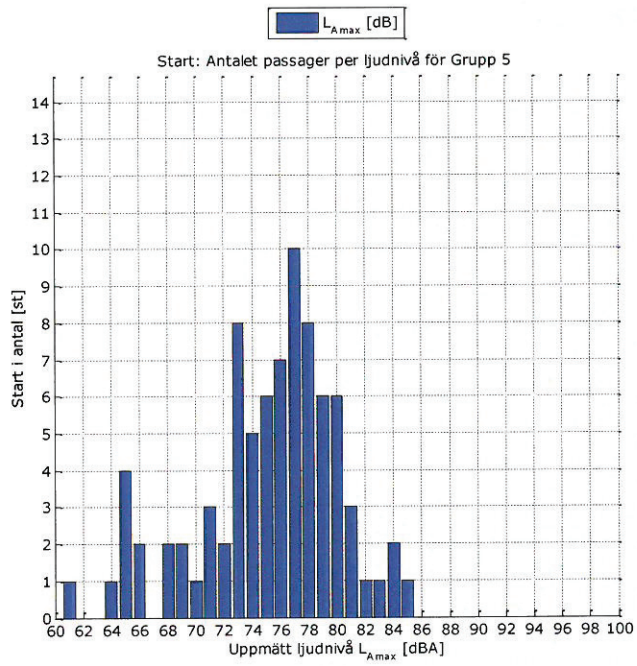
Bilaga 2. Diagram $L_{A\text{max}}$ vid starter



RAPPORT

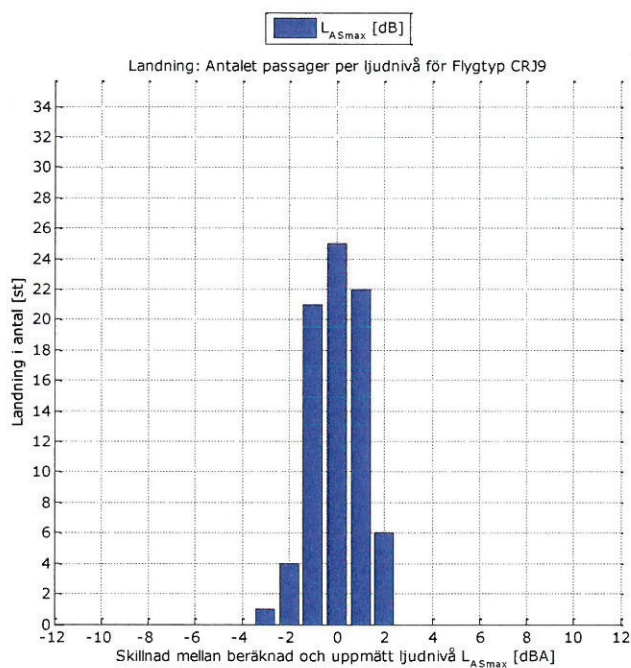
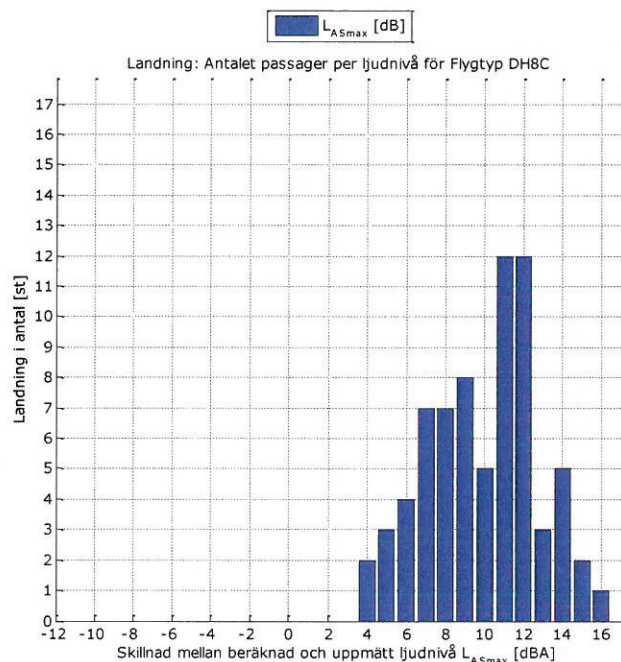


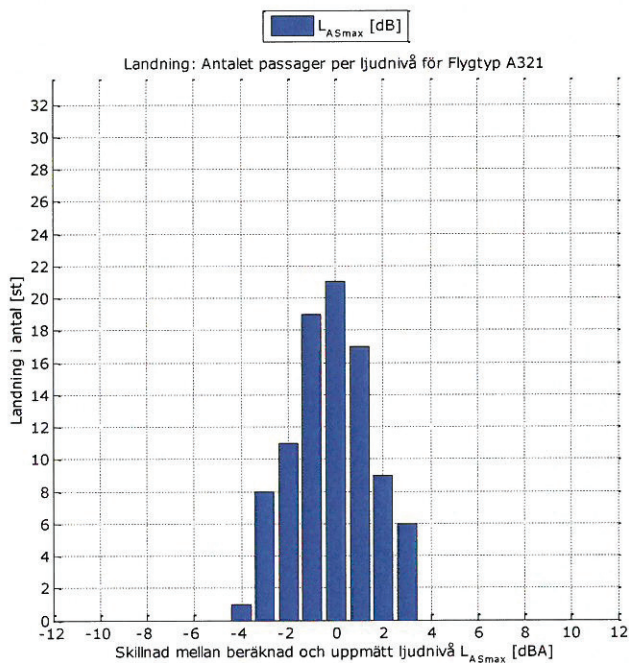
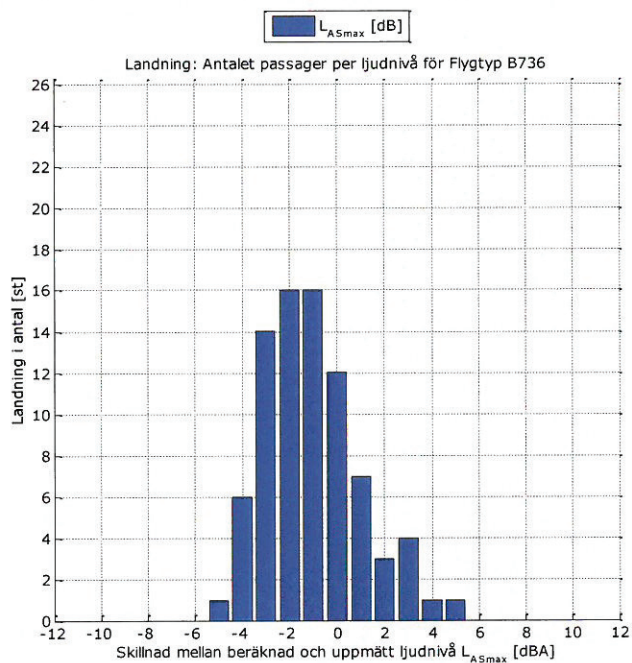
RAPPORT

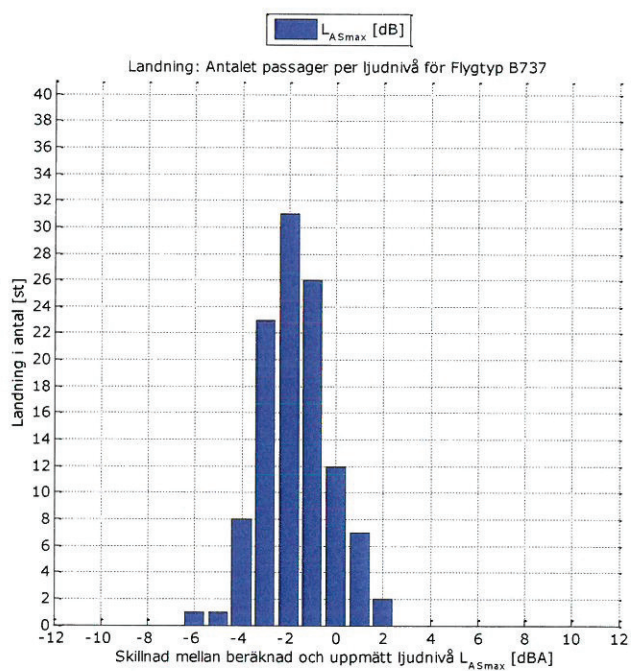
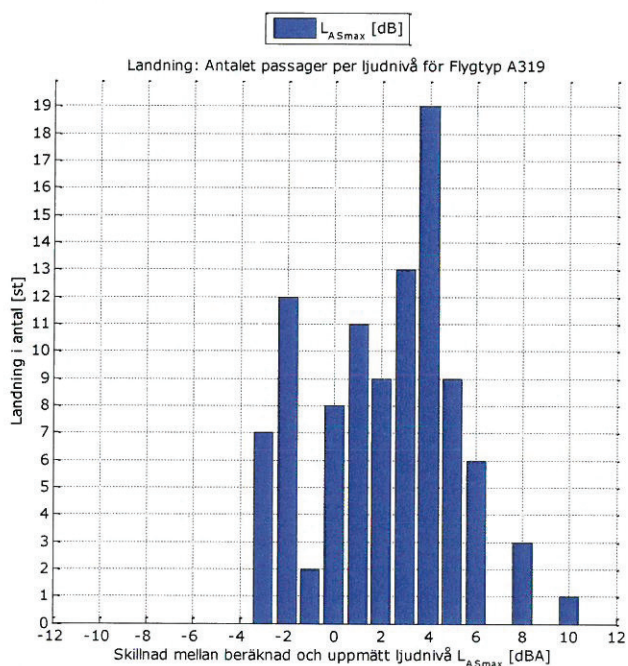




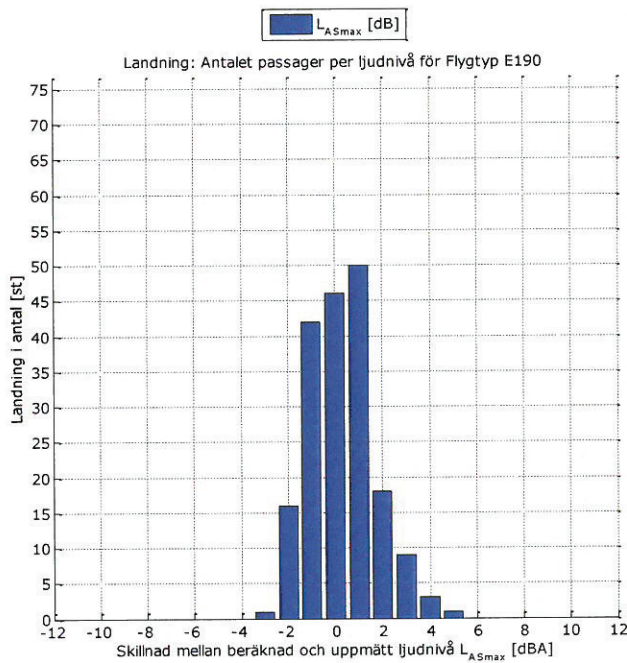
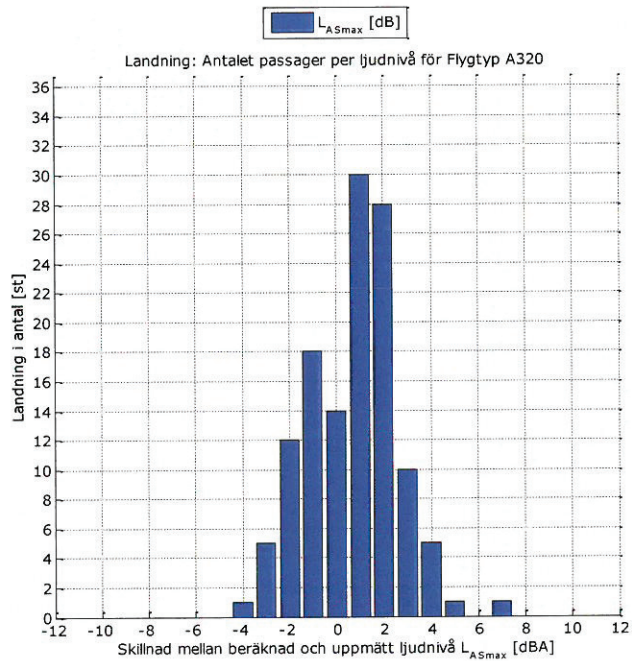
Bilaga 3. Diagram L_{ASmax} vid landning







RAPPORT



RAPPORT

