

# **OMRÄKNING AV FBN FÖR TRAFIKFALL 4 MED 2012-ÅRS BERÄKNINGSMETOD**

**Bromma Stockholm Airport**

## Revisionsförteckning

<b>Rev</b>	<b>Datum</b>	<b>Upprättad av</b>	<b>Information</b>
01.00	2012-11-26	C.Heed och M.Wall	

# OMRÄKNING AV FBN FÖR TRAFIKFALL 4 MED 2012-ÅRS BERÄKNINGSMETOD

**Bromma Stockholm Airport**

## SAMMANFATTNING

Ett av villkoren i Bromma Stockholm Airports miljö tillstånd föreskriver att utfall årsvis av FBN 55 dB(A) och 65 dB(A) inte får överskrida de bullerkurvor som redovisats av respektive ljudnivå i ansökan om miljö tillstånd från 1978-05-18. Dessa referensbullerkurvor baseras på ett trafikfall som år 1978 prognostiserades för år 1990 och kallas i ansökan för trafikfall 4.

Transportstyrelsen, Naturvårdsverket och Försvarmakten har kommit överens om att beräkningsmetoden för flygbullerberäkningar i Sverige skall göras kvalitetssäkrat. Metoden beskrivs i det kvalitetssäkringsdokument som är upprättat av myndigheterna. Där anges att jämförande flygbullerberäkningar mellan utfall av nuvarande trafik och referenstrafikfall skall göras med samma beräkningsmetod. Detta innebär att antingen måste FBN för dagens trafikutfall beräknas med samma metod som användes år 1978 eller så måste beräkning av referenstrafikfallet, trafikfall 4, göras om med 2012-års beräkningsmetod.

För att indata till beräkningen ska bli så noggrant som möjligt och för att förstå vad som legat till grund för den gamla metoden har en stor litteratursökning genomförts. Stort fokus har legat på att söka information om detaljer kring bland annat trafikfall, flygvägar och flygplanstyper. Gamla ansökningshandlingar med bilagor och rapporter har hämtats på bland annat riksarkivet. Många handlingar som givit ledtrådar om gamla beräkningsmetoder har funnits i Swedavia flygakustiks bibliotek. Sammantaget visar kartläggningen av tidigare material att återskapa den exakta metoden som användes år 1978 inte är tekniskt möjlig och därför räknas referensbullerkurvorna för trafikfall 4 istället om med 2012-års beräkningsmetod.

Dagens metod är som nämnts ovan kvalitetssäkrad och beräkningarna har gjorts med utgångspunkt från ECAC dokument 29 version 3 och med beräkningsprogrammet INM 7.0c. Beräkning av trafikfall 4 med dagens metod jämfört med 1978-års metod ger en FBN 55 dB(A)-bullerkurva som har en annan form än vad den gamla beräkningen gav och den nya beräkningen ger en bullerkurva som är ca 3 dB större i banans riktning men ungefär lika bred tvärs rullbanan.

Trafikfall 4 består av totalt 160 300 rörelser och utfall för år 2011 var som jämförelse totalt 67 923 rörelser. Om varje rörelse i båda fallen skulle ha samma bullemission kan man förvänta sig att 2011 års utfall för FBN i medel är ca 4 dB lägre än referenstrafikfallet. Men på grund av rörelsernas fördelning över dygnet, banfördelning, flygvägsspridning och andra flygplanstyper blir inte skillnaden fullt så stor.

Jämförs FBN för trafikfall 4 med FBN utfall år 2011, båda beräknade med 2012-års metod, är utfallet år 2011 i medel ca 3 dB lägre än trafikfall 4 både för FBN 55 dB(A) och FBN 65 dB(A).

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

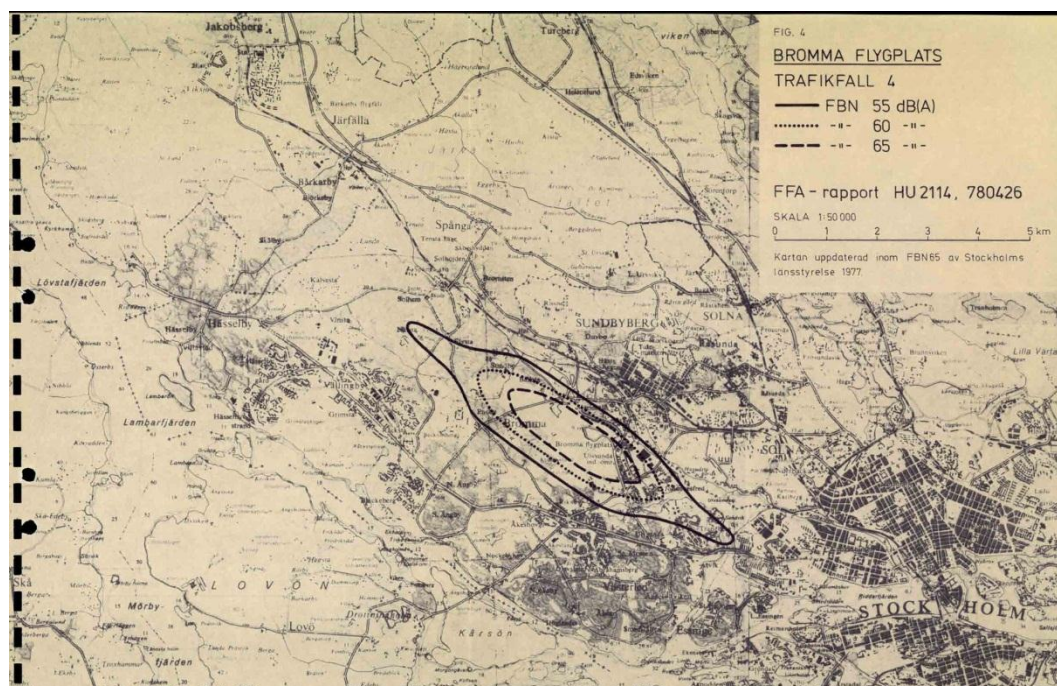
<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>5</b>
1.1	Bakgrund .....	5
1.2	Syfte .....	6
<b>2</b>	<b>METOD .....</b>	<b>7</b>
2.1	2012-års beräkningsmetod, ECAC doc. 29 version 3 .....	7
2.2	1978-års beräkningsmetod, FFA .....	8
2.3	Skillnader i beräkningsmetoderna .....	9
<b>3</b>	<b>INDATA .....</b>	<b>10</b>
3.1	Trafikfall 4 – 160 300 rörelser .....	10
3.2	Flygplansgrupper.....	11
3.2.1	Q120.....	11
3.2.2	Typ B .....	12
3.2.3	Affärsjet .....	13
3.2.4	Tvåmotorigt propellerflygplan.....	14
3.2.5	Enmotorigt propellerflygplan och helikopter.....	14
3.3	Flygvägar.....	15
3.3.1	Rörelser per flygväg och grupp (HU-2114 bilaga 1 s. 5 & 6).....	15
3.3.2	Flygvägar bana 12 (ansökan - bilaga 8).....	16
3.3.3	Flygvägar bana 30 (ansökan - bilaga 9).....	16
3.3.4	Flygvägar för beräkning (HU-2114 s. 4 & 6) .....	17
3.3.5	Flygvägar i beräkningsmodellen.....	17
3.3.6	Banfördelning (HU-2114 s. 3) .....	18
<b>4</b>	<b>RESULTAT.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>SLUTSATSER .....</b>	<b>20</b>
5.1	Diskussion .....	20
5.2	Felkällor och känslighetsanalys.....	22
5.2.1	Indata.....	22
5.2.2	Operativa procedurer.....	22
5.2.3	Q120.....	23
5.2.4	Typ B .....	23
5.2.5	Affärsjet .....	24
5.2.6	En- och två motoriga propellerflygplan .....	24
5.2.7	Felkällor jämfört med utfallsberäkningen år 2011 .....	24
5.3	Sammanfattning .....	25
5.4	Vidare utredningar.....	26
<b>6</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>27</b>
6.1	Referenser i löptext .....	27
6.2	Arkivkällor .....	28
<b>7</b>	<b>BILAGA .....</b>	<b>28</b>
7.1	Bullerkurvor i A4-format för FBN 55 dB(A).....	28

## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

I beslutet om miljötillstånd enligt koncessionsnämnden 1979-07-13 [ref.1], särskilda villkor nummer 3, gäller att ”Ljudnivån kring flygplatsen beräknad enligt FBN<sup>1</sup>-metoden får från den i punkt 1 angivna tidpunkten [juni år 1981] i vad beror på flygverksamheten och vad gäller FBN 55 och 65 dB(A) ej överskrida de gränser som anges i trafikfall 4 i luftfartsverkets ansökan (s 109) [ref.2]”.

Villkoret fastställdes av regeringen i beslut den 9 oktober 1980 (Jordbruksdepartementet, beslut 18, mål 1774/79 m.fl.), som nuvarande villkor 1: ”Ljudnivån kring flygplatsen beräknad enligt FBN-metoden får – i vad mån beror på flygverksamheten och vad gäller FBN 55 och 65 dBA – inte överskrida de gränser som anges i trafikfall 4 i Luftfartsverkets ansökan (d.v.s. innanför FBN 55 dBA-konturen Mariehäll, Johannesfred, vissa områden kring Bromma kyrka, Eneby och Sundby samt innanför FBN 65 dBA-konturen flygplatsområdet och ett fåtal hus vid Bromma kyrka belägna i direkt anslutning till flygplatsområdet).”.



Figur 1: FBN 55 och 65 dB(A) beräknade av Flygtekniska försöksanstalten (FFA) år 1978, enligt rapport HU-2114 [ref.3].

Villkoret anger att utfall årsvis av  $FBN_{TBU}^2$  55 dB(A) och 65 dB(A) inte får överskrida de bullerkurvor som redovisats i ansökan om miljötillstånd från 1978-

<sup>1</sup> FBN är en viktad ekvivalent ljudnivå, där en flygrörelse under kvällen (kl. 19 – 22) räknas som 3 daghändelser och en flygrörelse under natten (kl. 22 – 07) räknas som 10 daghändelser.

<sup>2</sup> TBU i  $FBN_{TBU}$  står för ”trafikbullerutredningen” eftersom begreppet FBN ursprungligen definierades av Trafikbullerutredningen, TBU i delbetänkande ”flygbuller SOU 1975:56”, som 1980/81 blev föremål för riksdagens godkännande.

05-18 [ref.2]. Figur 1 redovisar dessa referensbullenkurvor som baseras på ett trafikfall som år 1978 prognostiserades till år 1990 och kallas i ansökan för trafikfall 4. Trafikfall 4 omfattar totalt 160 300 rörelser<sup>3</sup>.

Beteckningen FBN i föreliggande utredning avser  $FBN_{TBU}$  till skillnad från den nyare FBN som i en övergångsperiod ofta benämns  $FBN_{EU}$ <sup>4</sup> och som är en anpassning till europeiska förhållanden.

Transportstyrelsen, Naturvårdsverket och Försvarmakten har kommit överens om att beräkningsmetoden för flygbullerberäkningar i Sverige skall göras kvalitetssäkrat. Metoden beskrivs i det kvalitetssäkringsdokument som är upprättat [ref.4]. Där anges att jämförande flygbullerberäkningar mellan utfall av nuvarande trafik och referenstrafikfall skall göras med samma beräkningsmetod (volym 1 stycke 5.5). Detta innebär att antingen måste dagens trafikutfall beräknas med samma metod och program som användes år 1978 eller så måste 1978-års FBN-beräkning av referenstrafikfallet, trafikfall 4, göras om med dagens beräkningsmetoder.

Den beräkningsmetod som användes av FFA<sup>5</sup> år 1978 är inte längre möjlig att återskapa eftersom den bland annat bygger på uppmätta ljudnivåer av för tiden aktuella flygplan<sup>6</sup> som inte är tillgängliga i sin helhet. Dessutom kördes den beräkningen på en dator med hålkort och utskriften av resultatet gjordes analogt på papper. Varken datorhårdvaran eller datorprogramvaran finns tillgängliga. Enbart detta är tillräcklig motivering till att räkna om referensbullenkurvorna för trafikfall 4 med de verktyg som i dagsläget används för att beräkna flygbuller.

Precisionen och detaljrikedomen i kartor och kartverktyg har kraftigt förbättrats sedan 1970-talet liksom tillämpningen av numeriska metoder i och med att man har kunnat nyttja den datorberäkningskraft som utvecklats. Detta är en viktig faktor som eliminerar osäkerheter i presentation av bullerkurvor på karta och noggrannheten i beräkningsalgoritmerna. I tillägg till detta är den i dag standardiserade metoden för inmätning av källdata för olika flygplanstyper säkrare, noggrannare och mer användbar än lokalt uppmätta källdata och dagens modell är mer skalbar än vad som var möjligt på 1970-talet.

## 1.2 Syfte

Syftet är att räkna om FBN för trafikfall 4 med 2012-års metod. För att indata till beräkningen ska bli så noggrant som möjligt och för att förstå vad som legat till grund för den gamla beräkningen av trafikfall 4 har en stor litteratursökning

<sup>3</sup> En rörelse är en start eller en landning av ett luftfartyg.

<sup>4</sup>  $FBN_{EU}$  är en svensk tillämpning av  $L_{den}$ .  $L_{den}$  är en viktad ekvivalent ljudnivå, där en flygrörelse under kvällen (kl. 18 – 22) ges ett tillägg av 5 dB(A) och en flygrörelse under natten (kl. 22 – 06) ges ett tillägg av 10 dB(A).

<sup>5</sup> FFA, Flygtekniska försöksanstalten, The aeronautical research institute of Sweden

<sup>6</sup> Se referenser [ref.3],[ref.5],[ref.6]

genomförts. Stort fokus har legat på att söka information om detaljer kring bland annat trafikfall, flygvägar och flygplanstyper. Gamla ansökningshandlingar med bilagor och rapporter har hämtats på bland annat riksarkivet. Många handlingar som givit ledtrådar om gamla beräkningsmetoder har funnits i Swedavia flygakustiks bibliotek. Sammantaget visar kartläggningen av tidigare material att återskapa den exakta metoden som användes år 1978 inte är tekniskt möjlig och därför räknas referensbullerkurvorna för trafikfall 4 istället om med 2012-års beräkningsmetod.

Föreliggande utredning redovisar hur bullerkurvorna  $FBN_{TBU}$  55 dB(A) och 65 dB(A) för trafikfall 4 ser ut när de beräknats enligt 2012-års metod. Som jämförelse redovisas också  $FBN_{TBU}$  55 dB(A) och 65 dB(A) för 2011 års utfall beräknad med 2012-års metod samt de ursprungliga referensbullerkurvorna av trafikfall 4 som beräknades år 1978. 2011 års utfall omfattar totalt 67 923 rörelser.

## 2 METOD

### 2.1 2012-års beräkningsmetod, ECAC doc. 29 version 3

Flygbullerberäkningarna har gjorts med den datoriserade beräkningsmodellen INM 7.0c<sup>7</sup> som är konstruerat av FAA<sup>8</sup>. INM tillämpar den beräkningsmetod för flygbuller som tagits fram och dokumenterats av SAE<sup>9</sup> och Aviation Noise Committee (A-21). INM 7.0c med dess underliggande teori överensstämmer med den metodbeskrivning som redovisats i ECAC<sup>10</sup> dokument 29 (version 3) och ICAO<sup>11</sup> Circular 205. Transportstyrelsen, Försvarmakten och Naturvårdsverket har tagit fram en gemensam promemoria redovisandes de principer som ska gälla för kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar i Sverige [ref.4]. I detta kvalitetssäkringsdokument för flygbullerberäkningar skrivs att det är gällande version av ECAC Doc 29 (version 3) som ska vara den metodmässiga utgångspunkten för flygbullerberäkningar.

INM 7.0 tillämpar en internationell prestanda- och flygbullerdatabas kallad ANP<sup>12</sup> som godkänts av ECAC. ANP-databasen innehåller för närvarande detaljerad information för omkring 150 olika flygplanstyper vilket teoretiskt ger möjlighet till ett mycket precis beräkningsförfarande.

Brommas rullbana är 1668 x 45 meter och ligger i riktning 120 grader norr. Det vill säga att banorna 12 och 30 opereras. Rullbanans höjd är 47 fot MSL.

<sup>7</sup> Integrated Noise Model, 7.0c anger versionen

<sup>8</sup> Federal Aviation Administration (USAs myndighet i luftfartsfrågor)

<sup>9</sup> Society of Automotive Engineers (numera SAE International)

<sup>10</sup> European Civil Aviation Conference (etablerad av ICAO och Europarådet), url: <https://www.ecac-ceac.org/>

<sup>11</sup> International Civil Aviation Organization (specialorgan inom FN)

<sup>12</sup> Aircraft Noise and Performance (ANP) Database, url: <http://www.aircraftnoisemodel.org/>

Terrängunderlag har levererats från Lantmäteriet. Höjdinformationen är inmätt i 50 meters rutnät och sedan anpassat till 3TX-filformat<sup>13</sup>. Ingen hänsyn till blockerande byggnader eller föremål har tagits. Internationell standardatmosfär inklusive en standardtemperatur på 15 °C samt 8 knops motvind har använts. Beräkningshöjd för ljudnivåer är 1,2 meter över mark.

Bullerkonturerna är beräknade med rekursivt rutnät<sup>14</sup> samt en marginal till Low och High Cutoff<sup>15</sup> på 15 dB. Endast buller från operationer i luften och på start och landningsbanan ingår i beräkningarna. Buller från taxning, motorprovkörning, APU<sup>16</sup> och liknande ingår alltså inte.

Omräkningen av trafikfall 4 överensstämmer med Kvalitetssäkringsdokumentet för flygbullerberäkningar.

Karthantering, det vill säga metoden för att framställa bullerkurvor med en bakgrundskarta görs idag digitalt genom export från INM och import till AutoCAD 2011 Civil 3D genom samma referenspunkter och kartprojektion vilket innebär att de resulterande bullerkurvorna och dess referenspunkt inte förändras från bullerberäkningsverktyget till utskrift på skärm eller papper.

## 2.2 1978-års beräkningsmetod, FFA

Den beräkningsmetod som användes av flygtekniska försöksanstalten, FFA, år 1978 är som tidigare nämnts inte längre möjlig att återskapa i sin helhet eftersom beräkningsverktyget inte finns tillgängligt. Vidare används för metoden källdata i form av uppmätta ljudnivåer av för tiden aktuella flygplan och data från flygplanstillverkarna<sup>17</sup>. FFA-metoden använder beräkningsmodellen för FBN som finns beskriven i trafikbullerutredningen från år 1975 [ref.7] och tar hänsyn till luftens absorption, men inte till markdämpning eller möjlighet att ta hänsyn till omgivningens höjdvariationer på mark.

Karthanteringen har i detta fall gjorts analogt och manuellt på papperskarta.

Föreliggande utredning har haft mer fokus på att använda ett så bra underlag som möjligt till beräkningen med ny metod än att redovisa den gamla beräkningsmetoden. Dagens metod inkluderar de framsteg som har gjorts inom flygbullerberäkning och tillämpningar av numeriska metoder sedan 70-talet.

<sup>13</sup> 3TX är det filformat för terrängdata som används i INM.

<sup>14</sup> Med ett rekursivt rutnät kan ljudnivåer beräknas mer noggrant för de punkter där ljudnivån varierar kraftigt och mindre noggrant för de punkter som ljudnivåerna varierar mindre. Rekursivt rutnät kan optimera beräkningstiden avsevärt.

<sup>15</sup> För ljudnivåer under Low Cutoff eller över High Cutoff finfördelas inte det rekursiva rutnätet. För varje beräkningsspunkt och beräkningen blir alltså inte lika noggrann för ointressanta ljudnivåer

<sup>16</sup> Auxiliary Power Unit är en sorts hjälppaggregat för att bland annat starta flygplansmotorer.

<sup>17</sup> Se referenser [ref.3],[ref.5],[ref.6].



## 2.3 Skillnader i beräkningsmetoderna

Tabell 1 redovisar de påträffade skillnaderna mellan 2012-års och 1978-års beräkningsmodeller. Utöver vad som framgår av tabellen så är källdata för beräkning olika.

En stor skillnad är också som tidigare nämnts hanteringen av bullerkurvor och redovisning på karta. Dagens metod innebär ett helt digitalt förfarande som inte påverkar bullerkurvornas referens, utformning och storlek, medan 1978-års metod var av analog modell och ritades på papperskarta. 1978-års beräkning av FBN för trafikfall 4 har i efterhand digitaliserats från papperskarta enligt Figur 1 och anpassats till de olika kartverktygen och kartprojektionerna som varit aktuella under årens lopp.

**Tabell 1: De viktigaste kända skillnaderna mellan 2012-års och 1978-års beräkningsmodell.**

<b>Parameter</b>	<b>2012-års beräkningsmodell</b>	<b>1978-års beräkningsmodell</b>
Temperatur:	15 °C (ISA <sup>18</sup> )	15 °C
Lufttryck:	760 mmHg (ISA <sup>19</sup> )	Ej tillgängligt
Luftfuktighet:	70 %	70 %
Vindförhållanden:	8 knop motvind	0 knop
Topografi:	JA	NEJ
Markdämpning:	JA	NEJ
Luftabsorption:	JA <sup>19</sup>	JA <sup>20</sup>
Beräkningsprogram:	INM 7.0c	FFA <sup>21</sup>
Varaktighetsförhöjning:	JA <sup>22</sup>	NEJ

<sup>18</sup> International Standard Atmosphere, ISO 2533:1975

<sup>19</sup> Beskrivs i SAE (Society of Automotive Engineers) Aerospace Standards AIR 1845

<sup>20</sup> Det redovisas i HU-2114 att hänsyn tas till luftabsorption, men det framgår inte hur.

<sup>21</sup> Källdata för flygplanstyper är inte samma och behandlas inte på samma sätt i 1978-års beräkningsmodell jämfört med 2012-års beräkningsmodell.

<sup>22</sup> Varaktighetsförhöjning: en och samma maximala ljudnivå kan ge upphov till olika ekvivalenta ljudnivåer beroende på hur snabbt ljudet tilltar och avtar vilket beror på hur snabbt flygplanet framförs.

### 3 INDATA

För att kunna göra en ny beräkning behövs följande information:

- Flygplansgrupper
  - a. Representantflygplan per grupp och bullerinformation (källdata) om detta flygplan
  - b. Antal rörelser<sup>23</sup> per grupp och operationstyp (start eller landning)
  - c. Antal rörelser per flygplansgrupp per flygväg per dygn och bana
  - d. Fördelningen av rörelserna över dygnet
- Flygvägar
  - a. Geografisk utformning (lateral spridning)
- Utformning för beräkning
  - a. Operativa procedurer
  - b. Typisk startvikt<sup>24</sup> TOW (baseras på destinationer)
  - c. Typisk landningsvikt<sup>25</sup> LW
- Banfördelning

#### 3.1 Trafikfall 4 – 160 300 rörelser

Tabell 2 är ett utdrag ur FFA-rapport HU-2114 sidan 4 som visar prognos om antalet flygplansrörelser. Trafikfall 4 motsvarar prognos för år 1990 framtagen år 1978 och omfattar totalt 160 300 rörelser.

Tabell 2: Prognos av antalet rörelser år 1980, 1985 och 1990 (trafikfall 4).

Flygplanstyp	1980	1985	1990
F-28	25000	19000	0
Q120	0	12000	31000
Typ-B	2000	3700	4300
Affärsjetflygplan	6100	11650	12000
Tvåmotoriga prop.	24500	28250	35000
Enmotoriga prop.	68600	79100	78000
SUMMA	126200	153700	160300

<sup>23</sup> En rörelse är en start eller en landning av ett luftfartyg

<sup>24</sup> Typisk startvikt är den representativa startvikt för respektive flygplan och destination till skillnad från maximal startvikt MTOW som flygplanet är certifierat för. Detta är standardiserat i beräkningsmodellen.

<sup>25</sup> Typisk landningsvikt är den representativa landningsvikt för respektive flygplan till skillnad från maximal landningsvikt MLW som flygplanet är certifierat för. Detta är standardiserat i beräkningsmodellen.

## 3.2 Flygplansgrupper

### 3.2.1 Q120

Q120 var ett jetflygplan som antogs skulle ersätta Fokker 28 (ansökan s. 57) och i beskrivningen över den eventuellt nya flygplanstypen lämnades tillgängliga uppgifter rörande de europeiska flygplansprojekten JET 1 och 2 (Joint<sup>26</sup> European Transport) som fanns tillgängliga när ansökan författades. Dessa projekt baserades i huvudsak på de flygplansprojekt som tidigare hade presenterats av Aerospatiale i Toulouse, Frankrike under beteckningen A 200, A 1 och B 2. Enligt tillgängliga uppgifter pågick slutliga diskussioner om ett samarbete mellan flygplanstillverkare i bl.a. England, Frankrike, Holland och Västtyskland avseende återstående utvecklingsarbete och produktion av JET 1 och 2-projekten. Enligt de senaste tidsplanerna beräknades den första flygningen med flygplanstypen komma att ske under år 1981 och första leverans beräknades kunna ske under början av år 1983.

JET 1 antogs få kapacitet för 126-136 passagerare och en maximal startvikt på ca 62 000 kg. Räckvidden för JET 1-versionen skulle vara 2 400 – 3 150 km, som genom extratankar kan ökas till 4 600 km. Tänkbara motoralternativ för JET 1-versionen var General Electric/SNECMA:s CFM 56 och Pratt & Withneys JT 10D. Från miljösynpunkt bedömdes dessa motorer relativt likvärdiga. Motortyperna har by-pass-förhållanden på 1:6,2 resp. 1:3,3. Båda motortyperna utprovades under tiden ansökan skrevs varför ljuddata kunde baseras på aktuella mätresultat. Vissa ytterligare tekniska data för JET 1 är som följer:

Spännvidd:	34,03 m
Längd:	36,53 m
Max höjd:	12,54 m
Vingyta:	128,6 m <sup>2</sup>
Max startvikt:	62 000 kg
Max landningsvikt:	56 000 kg
Max tomvikt:	53 500 kg
Max bränslelast:	14 900 kg
Operativ tomvikt:	37 882 kg

JET-projekten användes senare som utgångspunkt när Airbus startade upp sina SA<sup>27</sup>-projekt under år 1980 och JET 1:s motsvarighet blev SA1. I februari 1981 döptes SA2-projektet om till det idag mer kända namnet A320 som hade sin första flygning år 1987. SA1-projektet fick sedermera namnet A319 som började tillverkas år 1996 men trots de designförändringar som gjordes mellan år 1978 och år 1996 så är A319:s grundläggande tekniska egenskaper väldigt lika de som presenteras ovan. Ur ett flygbullerperspektiv är motorerna den viktigaste

<sup>26</sup> I ansökan kallas detta projekt för Joined European Transport

<sup>27</sup> Single Aisle: Flygplan med en gång mellan stolarna

komponenten och General Electric CFM 56 blev den motor som till slut kom att användas på Airbus A319 såsom var föreslaget redan på 70-talet [ref.8].



Figur 2: Fokker 28

Bullerdata för JET 1 baserades vid beräkningarna år 1978 på F-28 MK 4000 men med följande modifieringar enligt Tabell 3.

Tabell 3: Uppmätta certifieringsljudnivåer för Fokker 28 och uppskattade värden (utdrag från ansökan s. 60 [ref.2]) för Q120 för cut back på 450 m höjd.

Certifieringspunkt	Avstånd	F-28 [EPNdB]	Q120 [EPNdB]	Differens [EPNdB]
Sida	450 m	98,5	89,5	-9,0
Start	6 500 m	90,0	77,0	-13,0
Landning	2 000 m	101,5	95,8	-5,7

I ansökan år 1978 angavs flera olika bullerreduceringar beroende på vilken höjd cut back<sup>28</sup> utföres och vilken startvikt som flygplanet antogs få. Enligt ansökan s. 109 är beräkningen utförd med cut back på 450m/1500 fot och med en startvikt som är anpassad för svenska inrikesförhållanden så fås differenser enligt Tabell 3. Den standardprofil som finns definierad för Fokker 28 i INM har cut back på 450m vilket medför att eventuella skillnader i profil inte ska ha stor betydelse.

Ovanstående differenser i dB har applicerats på Fokker 28 Mk 4000 i INM. Standard startprofil med stage length 1<sup>29</sup> används i de nya beräkningarna. Stage length 1 antas vara det korrekta värdet eftersom ansökan beskriver att bullernivåerna gäller svenska inrikesresor. Landningsprofilen är modifierad till 3,2 graders glidbana. De gamla beräkningarna från ansökan utgick från 3,25 grader men INM kan endast hantera steg om 0,1 grader, se vidare under kapitel 3.3.4.

### 3.2.2 Typ B

Flygplansgruppen Typ B är turbopropellerflygplan i linjetrafik. En representerande flygplanstyp är inte tydligt utskrivet i

<sup>28</sup> Cut back innebär att gaspådrag reduceras, vilket förändrar stigprofilen och därmed bulleremissionerna.

<sup>29</sup> Stage length beskriver avstånd till destination. I praktiken innebär det att destinationer långt bort medför att flygplanet får en flackare startprofil. Inrikestrafiken har typiskt stage length 1, dvs destinationer inom en radie om 500 sjömil.

flygbullerberäkningsrapporten HU-2114 men enligt ansökan (s. 57) förfogar Linjeflyg över ett tiotal Convair 440 Metropolitan. Dessa skulle ersättas av en flygplanstyp kallad Typ B. Typ B finns inte i INM men ersätts med Convair 580 (enligt underlag till beräkning av TFBN<sup>30</sup> för trafikfall 4 som togs fram av Luftfartsverket i samband med komplettering till ansökan om villkorsändring enligt miljöskyddslagen i november 1995 [ref.9, ref.10], se också analys i kapitel 5.1).



Figur 3: Convair 440

Standardstartprofil med stage length 1 och landningsprofil med 3,2 graders glidbana används i den nya beräkningen, se vidare under kapitel 3.3.4.

### 3.2.3

#### Affärsjet

FFA-Rapporten HU-2114 beskriver inte vilken flygplanstyp som använts. Detsamma gäller de rapporter från ansökan som finns tillgängliga. I underlaget till beräkningen av TFBN för trafikfall 4 [ref.9] finns noterat att Affärsjet är representerad med flygplanstypen Learjet 35 med utgångspunkt från Falcon 10. Källdata för Learjet 35 finns inte i beräkningsverktyget INM, men standard ersättningstyp är Learjet 36 vilken bedöms ha liknande<sup>31</sup> bulleremission.



Figur 4: Learjet 35

Standardstartprofil med stage length 1 och landningsprofil med 3,2 graders glidbana används i den nya beräkningen, se vidare under kapitel 3.3.4.

<sup>30</sup> Total FlygBullerNivå enligt Dansk metod [ ref.10]

<sup>31</sup> Learjet 36 är praktiskt taget identiskt med Learjet 35, förutom större flygplanskropp och bränsletank vilket ger 500 miles längre räckvidd.

### 3.2.4 Tvåmotorigt propellerflygplan

Representerande flygplanstyp saknas både i ansökan och i flygbullerberäkningsrapporten HU-2114. I underlaget till beräkningen av TFBN för trafikfall 4, [ref.9], används flygplanstypen GATEP (General Aviation, Twin Engine, Propeller). Denna flygplanstyp finns inte i INM 7.0c och ersätts istället med BEC58P (Beechcraft Baron 58P) som anses vara likvärdig. Denna flygplanstyp används också som representerande typ i denna grupp i beräkningarna för nuläget (år 2011).



Figur 5: Beechcraft Baron 58P

Standardstartprofil med stage length 1 och landningsprofil med 3,2 graders glidbana används i den nya beräkningen, se vidare under kapitel 3.3.4.

### 3.2.5 Enmotorigt propellerflygplan och helikopter

Representerande flygplanstyp saknas i ansökan och flygbullerberäkningsrapporten HU-2114. I underlaget till beräkningen av TFBN för trafikfall 4, [ref.9], används GASEPF (General Aviation, Single Engine, Propeller Fixed). Denna flygplanstyp finns i INM och används också som representerande typ i denna grupp i beräkningarna för nuläget (år 2011).

Standardstartprofil med stage length 1 och landningsprofil med 3,2 graders glidbana används för IFR<sup>32</sup>-inflygningar. För VFR<sup>33</sup>-inflygningar används 3,5 graders glidbanevinkel enligt ansökan, se vidare under kapitel 3.3.4.

<sup>32</sup> IFR betyder Instrument Flight Rules och är regler för att flyga och navigera med hjälp av instrument.

<sup>33</sup> VFR betyder Visual Flight Rules och är regler för att flyga utan instrument.

### 3.3 Flygvägar

#### 3.3.1 Rörelser per flygväg och grupp (HU-2114 bilaga 1 s. 5 & 6)

Rörelser per grupp och respektive in- och utpasseringspunkt redovisas nedan. Tabellerna 4 – 7 innehåller dygnsviktade siffror<sup>34</sup> och motsvarar tabellerna i FFA-rapporten HU-2114 bilaga 1:5 och 1:6. Antal kvällsrörelser har där redan multiplicerats med tre och antal nattrörelser med 10 och kan användas direkt<sup>35</sup> för att beräkna FBN.

Tabell 4: Flygvägar VFR och dygnsviktade rörelser bana 12

Flygplanstyp	Landningar		Starter	
	EDSVIKEN	SVARTSJÖ	BOSÖN	ÄLVNÄS
Enmotoriga prop.	7100	16564	7100	16564

Tabell 5: Flygvägar VFR och dygnsviktade rörelser bana 30

Flygplanstyp	Landningar		Starter	
	BOSÖN	ÄLVNÄS	EDSVIKEN	SVARTSJÖ
Enmotoriga prop.	9366	21854	10648	24846

Tabell 6: Flygvägar IFR och dygnsviktade rörelser bana 12

Flygplanstyp	Landningar		Starter			
	CORNER	LENA	HAZEL	NORTEL	TEBBY	TROSA
Affärsjetflygplan	2442	1997	1110	1110	887	1332
Enmotoriga prop.	2856	2338	1298	1298	1039	1558
Q120	3880	4480	6300	4980	0	2140
Tvåmotoriga prop.	7122	5827	3237	3237	2590	3885
TYP B	600	740	0	0	740	600

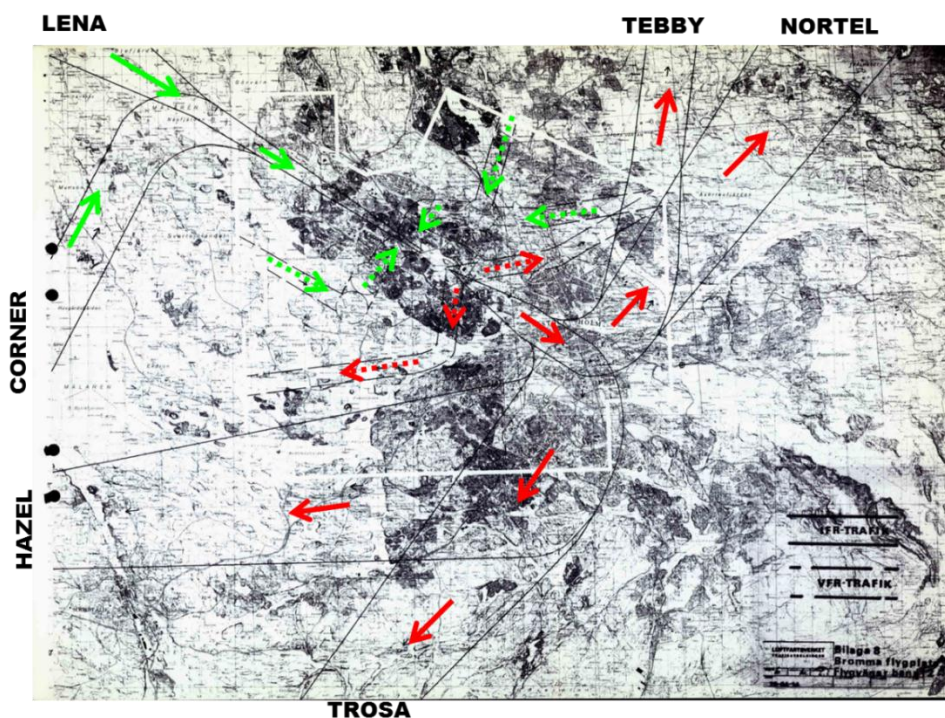
Tabell 7: Flygvägar IFR och dygnsviktade rörelser bana 30

Flygplanstyp	Landningar				Starter		
	CORNER	HAMMAR	TEBBY	TROSA	CORNER	DUNKER	LENA
Affärsjetflygplan	1665	1665	1332	1997	1997	1665	2909
Enmotoriga prop.	1558	1948	1558	2338	2338	1948	3506
Q120	1080	5630	0	5820	3210	6900	10020
Tvåmotoriga prop.	4836	4856	3885	5827	5827	4856	8740
TYP B	0	0	1110	900	900	0	1110

<sup>34</sup> Anmärkning: totalt antal dygnsviktade rörelser för trafikfall 4 är 287 596. Dygnsfaktorerna som anges i FFA-rapporten HU-2114 bilaga 1:5 antas vara ungefärliga. Totalt antal dygnsviktade rörelser blir 292 163 efter att antalet rörelser för trafikfall 4, 160 300, multiplicerats med de angivna dygnsfaktorerna för respektive flygplansgrupp och operationstyp.

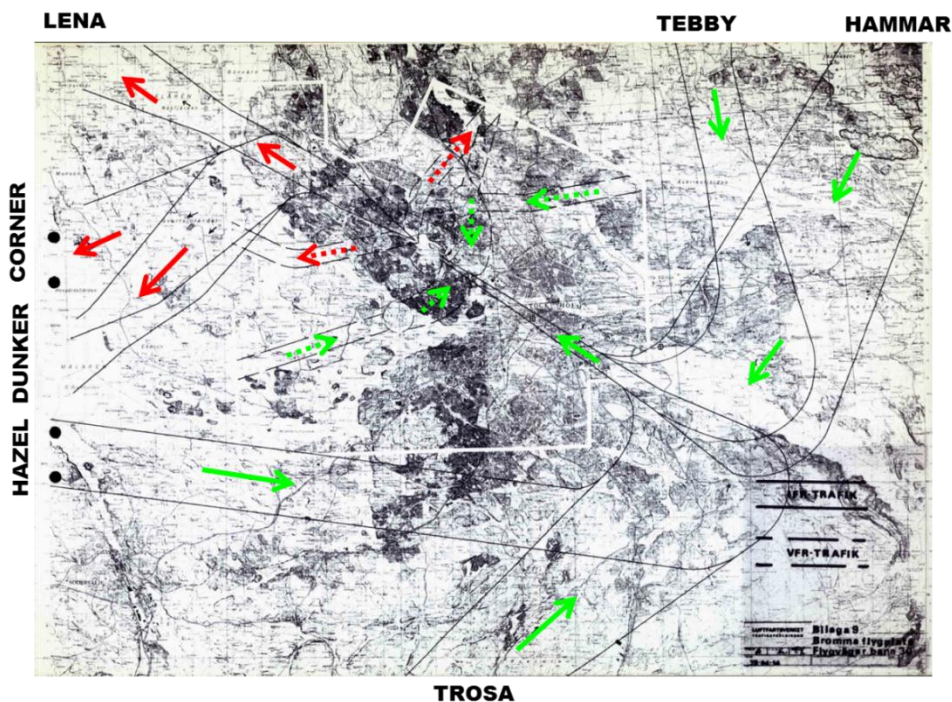
<sup>35</sup>  $L_{Aeq}$  beräknas i INM med dygnsviktade siffror och motsvarar då FBN

### 3.3.2 Flygvägar bana 12 (ansökan - bilaga 8)



Figur 6: Flygvägar enligt ansökan bilaga 8. Starter (rött) och landningar (grönt) samt namn på flygvägar är pålagda i efterhand för att göra bilden tydligare.

### 3.3.3 Flygvägar bana 30 (ansökan - bilaga 9)



Figur 7: Flygvägar enligt ansökan bilaga 9. Starter (rött) och landningar (grönt) samt namn på flygvägar är pålagda i efterhand för att göra bilden tydligare.



### 3.3.4 Flygvägar för beräkning (HU-2114 s. 4 & 6)

#### **Start:**

IFR: maximala avvikelser från den nominella flygvägen efter start antas vara  $\pm 10^\circ$  med början 1,6 km från startpunkten. Inom spridningsområdet har trafiken antagits normalfördelad med tyngdpunkten på den nominella flygvägen. Totalt sju spridningsflygvägar per bana har använts för IFR-startar i INM. Efter ca 6 km separerar flygvägarna och trafiken sprids på dem.

VFR: två utflygningsvägar per bana (ostlig och västlig). Trafiken har normalfördelats på fem spridningsflygvägar per utflygningsväg och svänger tidigt på sin flygväg.

#### **Landning:**

IFR: från slutet av banan mot vilken inflygning sker (motsvarande uppställningsplats för ILS kurssändare) har antagits en spridning av  $\pm 2^\circ$  ut till 8 NM<sup>36</sup> och därefter  $\pm 10^\circ$ . Inom spridningsområdet har trafiken normalfördelats med tyngdpunkten på den nominella flygvägen. Totalt sju spridningsflygvägar per bana har använts för IFR-landningar i INM. Glidbanevinkeln vid inflygning är  $3,2^\circ$ .

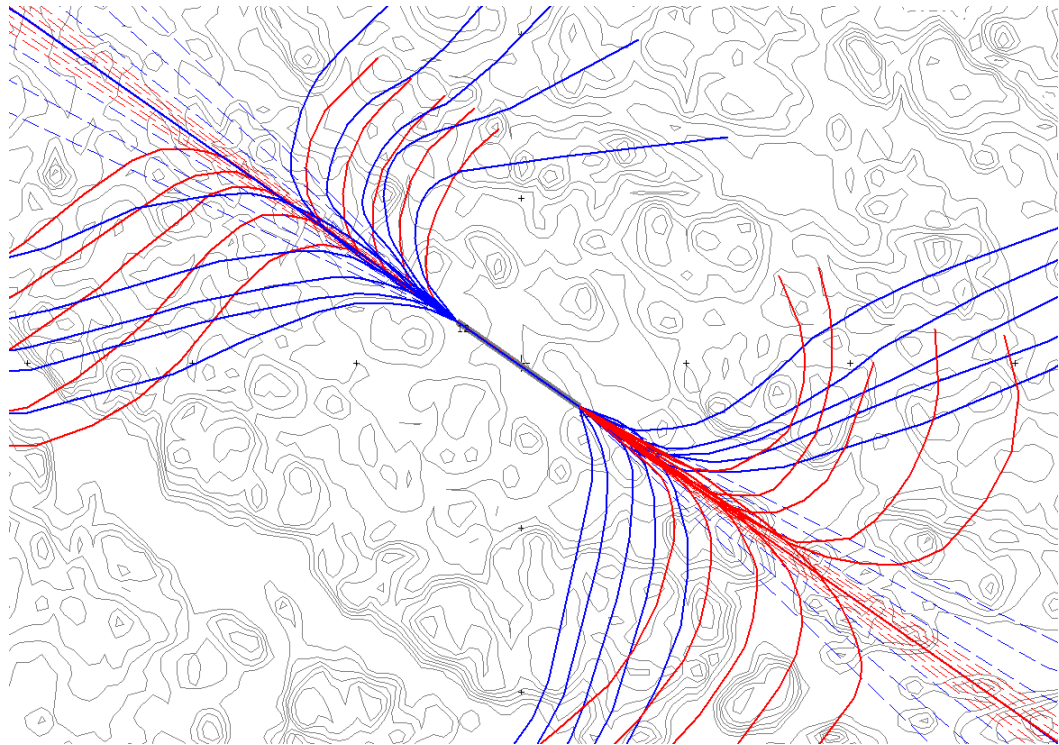
VFR: två inflygningsvägar per bana (ostlig och västlig). Trafiken har normalfördelats på fem spridningsflygvägar per inflygningsväg och vid inflygning har glidbanan satts till  $3,5^\circ$ .

Anmärkning: i den ursprungliga beräkningen enligt ansökan år 1978 var glidbanevinkeln  $3,25^\circ$  under inflygning för alla flygplanstyper, men INM kan endast hantera glidbanevinklar i steg om 0,1 grader. I övrigt har flygvägarna ritats på samma sätt som beskrivs ovan och med samma laterala spridning. Inflygningsvinkeln för IFR-trafik var  $3,25$  grader på Bromma år 1978 och idag är den  $3,5$  grader. VFR-flygvägarna har ritats efter karta från ansökningshandlingarna och kontrollerats mot dagens flygvägar eftersom geografisk beskrivning inte finns angiven i text.

### 3.3.5 Flygvägar i beräkningsmodellen

Figur 8 visar flygvägar ritade i INM 7.0c. Observera att svängpunkterna för IFR startar och landningar ligger så långt ut från flygplatsen att de inte påverkar bullerkurvorna och därför är endast en start- och landningsflygväg (inkl. spridningsspår) ritad per bana. Figuren visar även de höjdkurvor som används i beräkningen.

<sup>36</sup> 1 Nautisk Mil = 1 sjömil = 1852 meter



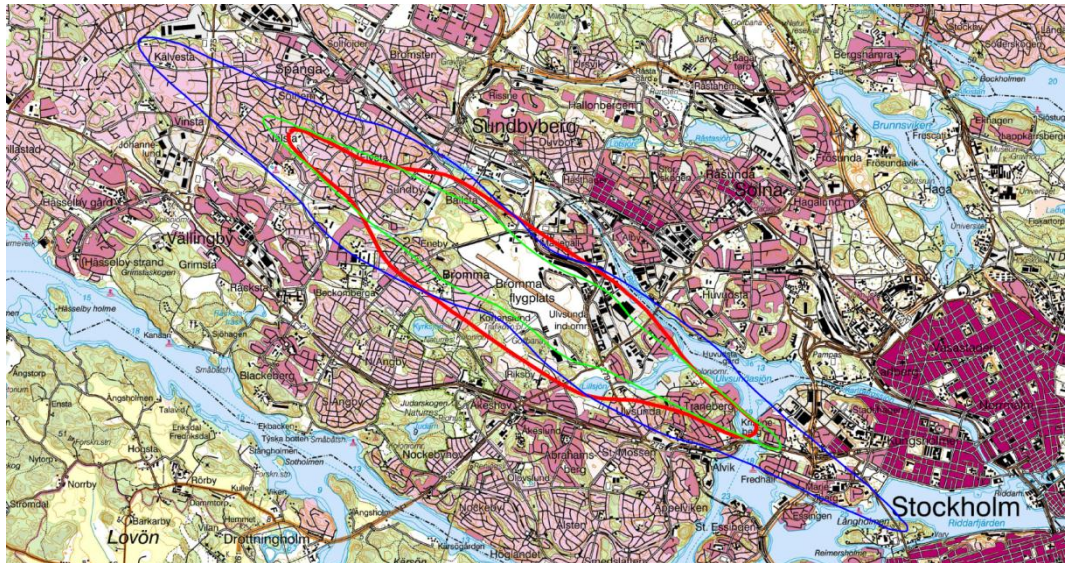
**Figur 8: Flygvägar ritade i INM 7.0c. Starter (blå) och landningar (röd), IFR streckad linje, VFR heldragen linje. Observera att svängpunkterna för IFR starter ligger så långt ut att de inte påverkar bullerkurvorna och därför är endast en start- och landningsflygväg (inkl. spridningsspår) ritad per bana. Figuren visar även höjdkurvor med 5 meters upplösning som orientering.**

### 3.3.6 Banfördelning (HU-2114 s. 3)

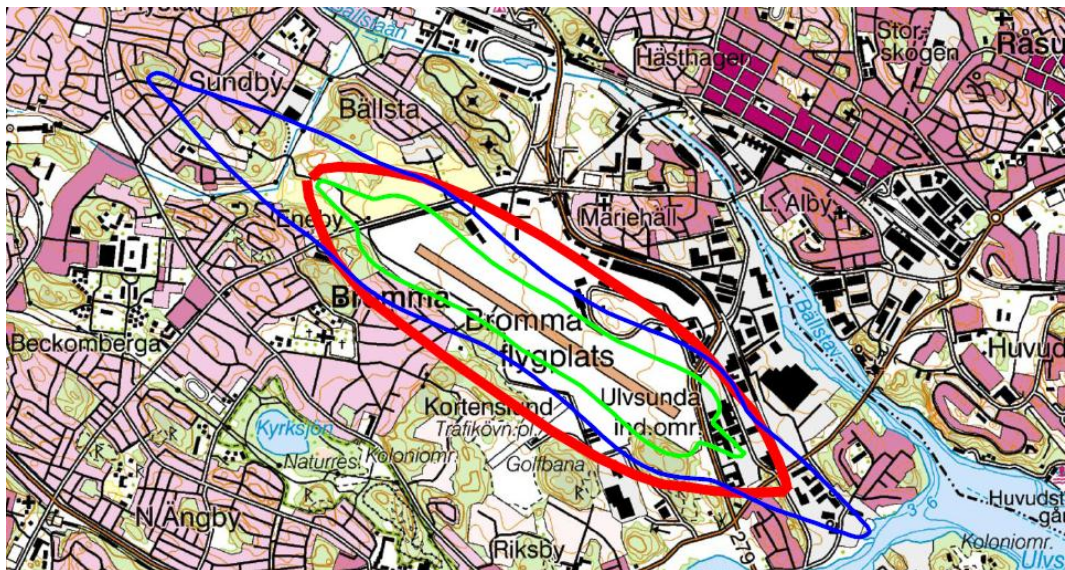
Banfördelningen för beräkningen av FBN för trafikfall 4 antogs i ansökan vara likadan som förhållandena var i nuläget på 70-talet när de ursprungliga bullerberäkningarna genomfördes. I ansökan redovisas att 40 procent av rörelserna opereras bana 12 och 60 procent av rörelserna opereras bana 30. Detta är också den banfördelning som används vid föreliggande omräkning av FBN för trafikfall 4 med 2012 års beräkningsmetod.

## 4

## RESULTAT



Figur 9: FBN<sub>TBU</sub> 55 dB(A). Resultat ny beräkning (2012-års metod) av trafikfall 4 (blå) och gammal beräkning (FFA-metoden) av trafikfall 4 (röd). Utfall år 2011 (grön) är beräknad med 2012-års metod.



Figur 10: FBN<sub>TBU</sub> 65 dB(A). Resultat ny beräkning (2012-års metod) av trafikfall 4 (blå) och gammal beräkning (FFA-metoden) av trafikfall 4 (röd). Utfall år 2011 (grön) är beräknad med 2012-års metod.

## 5 SLUTSATSER

Dagens metod är som nämnts ovan kvalitetssäkrad och beräkningarna har gjorts med utgångspunkt från ECAC dokument 29 version 3 och med beräkningsprogrammet INM 7.0c. Beräkning av trafikfall 4 med dagens metod jämfört med 1978-års metod ger en FBN 55 dB(A)-bullerkurva som är ca 3 dB större i banans riktning men ungefär lika bred tvärs rullbanan, se Figur 9. I riktningen sydöst slutar den gamla 55 dB(A)-bullerkurvan vid Kungsholmen men den nya bullerkurvan fortsätter in över Långholmen. I riktningen nordväst slutar den gamla 55 dB(A)-bullerkurvan vid Nälsta men den nya bullerkurvan sträcker sig förbi Kälvesta. Vad gäller FBN 65 dB(A) så ligger den nya bullerkurvan innanför den gamla beräkningen av trafikfall 4 vid rullbanans mitt men sträcker sig från Sundby i nordväst till Ulvsundasjöns strand i sydöst, se Figur 10.

Trafikfall 4 består av totalt 160 300 rörelser och utfall för år 2011 var som jämförelse totalt 67 923 rörelser. Om varje rörelse i båda fallen skulle ha samma bullemission kan man förvänta sig att 2011 års utfall för FBN i medel är ca 4 dB lägre än referenstrafikfallet. Men på grund av rörelsernas fördelning över dygnet, banfördelning, flygvägsspridning och andra flygplanstyper blir inte skillnaden fullt så stor. Jämförs FBN för trafikfall 4 med FBN utfall år 2011, båda beräknade med 2012-års metod, är utfallet år 2011 i medel ca 3 dB lägre än trafikfall 4 både för FBN 55 dB(A) och FBN 65 dB(A), se Figur 9 och Figur 10.

### 5.1 Diskussion

Beräkningsprogrammen använder olika metoder och beräkningsmodeller. Att de nya beräkningarna tar hänsyn till markdämpningen förklarar den smalare ”midjan” på bullerkurvan men det förklarar inte skillnaderna längre ut från flygplatsen. Skillnaderna längre ut kan delvis bero på skillnader i källdata samt vikt och procedurer. Det finns en stor osäkerhet i hur källdata används i den gamla modellen. Dagens beräkningsmetod använder en typ av interpolation och extrapolation som är väl beskriven<sup>37</sup> vilket inte den äldre beräkningsmetodens motsvarighet är. Därför kan detta vara en stor felkälla i den äldre beräkningsmetoden.

Den äldre metoden utgår från uppmätta ljudnivåer vid vissa höjder och punkter liksom dagens metod, men vikter och procedurer hanterades inte på samma sätt som dagens metoder, vilket kan medföra att dagens metod framför allt blir noggrannare i de punkter som inte har uppmätta ljuddata. Beräkningsmodellerna utgår från uppmätta ljudnivåer i ett visst antal mätpunkter och vissa höjder och interpoleras sedan för beräkning av ljudnivåer mellan dessa mätpunkter och extrapoleras för beräkning av ljudnivåer utanför mätpunkterna. Därför är det viktigt för noggrannheten att inmätta ljudnivåer tas fram med ett standardiserat förfarande som fungerar med de numeriska metoderna. Detta är också viktigt för

<sup>37</sup> Interpolation och extrapolation av exempelvis ljudnivåer från en flygvägs beräkningspunkter finns beskriven i INM 7.0 Technical Manual, Section 3.3

att minimera fel samt för att modellen ska vara repeterbar och kunna användas på olika flygplatser. Källdata i INM kommer från uppmätta certifieringsvärden<sup>38</sup>. Källdata i FFA-modellen erhöles ofta från flygplanstillverkare, men baserades ibland på lokalt uppmätta ljudnivåer vid överflygningar på konstant höjd [ref.6].

Det är oklart hur många beräkningspunkter som användes i FFA-metoden, det vill säga, antal punkter där ljudnivån slutligen beräknas. De nya beräkningarna i INM är utförda med ett rekursivt beräkningsnät. Det innebär att avståndet mellan beräkningspunkterna varierar och beräkningspunkterna blir tätare där ljudnivån varierar mycket. Beräkningskänsligheten till ljudnivåvariationen är i dessa beräkningar 0,01 dB. Minsta avstånd mellan beräkningspunkterna är i detta fall ungefär 25 meter. Skillnaden i antalet beräkningspunkter kan inte helt förklara varför trafikfall 4 beräknat med 2012-års beräkningsmetod ger en större bullerkurva jämfört med beräkningen med 1978-års beräkningsmetod men förklarar varför den nya bullerkurvan är mer detaljerad. Jämför framförallt 65 dB(A) kurvorna med varandra i Figur 10, där detta syns extra tydligt.

Båda beräkningarna tar hänsyn till absorptionen i luft men då information saknas i den gamla modellen hur denna absorption beräknas kan inte effekterna av detta undersökas vidare. Varaktighetsförhöjningen som tas hänsyn till i dagens metod kan ge högre bullerexponering nära flygplatsen, men mindre längre ut längs flygvägen.

Skillnaderna mellan bullerkurvorna i Figur 9 kan delvis verifieras med hjälp av en beräkning av total FBN (TFBN) (gäller även bullerkurvorna i Figur 10). Genom att beräkna och jämföra TFBN-utfallet av trafikfall 4 och 2011-års trafik kan skillnaderna i storlek på bullerkurvorna bekräftas. Denna beräkning använder samma beräkningsmetod som vid den årliga miljörapporteringen [ref. 9, 10].

Från Tabell 8 nedan kan man förledas att tro att bullerkurvor för trafikfall 4 borde vara 8 dB större än utfallet år 2011, men detta gäller endast för genomsnittet av alla bullernivåer. Fullt så stor är inte skillnaden överallt vilket bland annat beror på att TFBN-metoden utgår från respektive flygplans TSEL<sup>39</sup>-värden som är ett värde för start och ett värde för landning jämfört med INM som utgår från SEL-värden från respektive flygplan i ett stort antal punkter längs flygplanets flygväg och på så sätt blir mer noggrann. Skillnaden i TFBN mellan de båda trafikfallen i Tabell 8 är ändå så stor att skillnaderna mellan bullerkurvorna beräknade med 2012-års metod i Figur 9 respektive Figur 10 är rimliga. Det vill säga att FBN för trafikfall 4 rimligtvis bör vara större än FBN för utfall år 2011.

<sup>38</sup> Mätpunkterna för certifieringsvärden beskrivs i ICAO Annex 16 och beräkningsnoggrannheten för ekvivalenta ljudnivåer anges i SAE (Society of Automotive Engineers) Aerospace Standards AIR 1845 till  $\pm 3$  dB genom kontrollerade inmätningar.

<sup>39</sup> TSEL beräknas enligt Dansk metodik (metoden kallas där TDENL och beskrivs i en rapport "Noise Control at Airports/Airfields" ISBN 87-7280-008-9) som summan av den från ett flygplan mottagna ljudenergin över en bestämd yta om 28 km x 6 km och motsvarar all relevant ljudenergi.

**Tabell 8: Jämförelse av dygnsvägda rörelser trafikfall 4 och dygnsvägda rörelser utfall år 2011 samt jämförelse av TFBN. Ljudnivåerna är avrundade till hela dB varför det blir skillnader i differensredovisningen.**

Flygplansgrupp	Trafikfall 4		Utfall 2011		TFBN [dB(A)]		
	Typ	Antal <sup>40</sup>	Typ	Antal <sup>40</sup>	Trafikfall 4	2011	differens
Jet	Q120/78	54440	BAE300	26118	129	128	+1
Turboprop	CVR580	6700	SF340	30550	122	125	-2
Affärsjet	Learjet 35	22108	CIT3+GIV	9110	132	122	+11
2-motorig	BEC58P	64725	BEC58P	1715	137	121	+16
1-motorig	GASEPF	139623	GASEPF	20719	132	123	+8
Summa		287596		88212	140 <sup>41</sup>	131	+8

## 5.2 Felkällor och känslighetsanalys

### 5.2.1 Indata

Då det i vissa fall saknas indata har ett antal antaganden behövt göras. För flygvägar, antal rörelser samt banfördelning har exakta data kunnat hittas och de är därför att anse som tillförlitliga. Vad gäller bulleremissioner och representerande flygplanstyper redovisas detta nedan.

### 5.2.2 Operativa procedurer

Generellt har alla landande flygplan beräknats med en landningsprofil om 3,2°. Detta är strax under 3,25° som specificeras i HU-2114 och leder teoretiskt till en något ökad bullerutbredning på mark och skillnaderna är strax över 0,1 dB<sup>42</sup> för bullerbidraget från landningar. Med betänkan det att Kvalitetssäkringsdokumentet förordar användning av standardprofiler<sup>43</sup> för prognosberäkningar leder denna modifiering teoretiskt istället till en något minskad bullerutbredning på mark med ca 0,7 dB<sup>44</sup> för bullerbidraget från landande flygplan. För startprofiler så finns det väldigt lite data att tillgå från år 1978 och INM:s standardprofiler med Stage Length 1<sup>45</sup> har använts. Detta är alltså inte att anse som en felkälla då kvalitetssäkringsdokumentet förordar att standardprofiler ska användas på så väl start som landning.

<sup>40</sup> Antal rörelser är dygnsvägda, d.v.s. kvällshändelser = 3 dagshändelser.

<sup>41</sup> Beräkningen av TFBN för trafikfall 4 från år 1995 i ansökan om villkorsändring var exakt 139,68 dB(A). Jämför senare yrkande på 136 dB(A) som motsvarar ca 100 000 ovägda rörelser och villkor på 134 dB(A) som motsvarar ca 70 000 ovägda rörelser.

<sup>42</sup> En skillnad om 0,05° ger följande skillnad i ljudnivå givet att inte något annat förändras (t.ex. gaspådrag):  $20 \log \left( \frac{\tan 3,25^\circ}{\tan 3,20^\circ} \right) \approx 0,135 \text{ dB}$ . Landningar bidrar som mest med hälften av bullernivån rakt under inflygningsvägen i detta fall och skillnaden i FBN blir maximalt 0,07 dB.

<sup>43</sup> Standard glidbanevinkel i INM är 3,0 grader för föreliggande flygplanstyper.

<sup>44</sup> På samma sätt som i fotnot 42 blir skillnaden mellan 3,25 grader och 3,0 grader i praktiken ca 0,35 dB för FBN.

<sup>45</sup> Stage length 1 motsvarar startprocedur för inrikesdestinationer eller destinationer inom 500 sjömil radie.

### 5.2.3 Q120

Flygplanstypen Fokker 28 Mk 4000 som finns i INM har modifierats med de differenser som visas i Tabell 3 enligt den instruktion som finns i Kvalitetssäkringsdokumentet [ref.4] stycke 6,4. Men då certifieringsdata är definierad i storheten EPN, en enhet som delvis är baserad på spektralkomponenter, och modifieringen görs av SEL, som är A-vägd, kan skillnader uppstå. Två flygplanstyper kan ha samma EPN-värde men olika SEL-värden och vice versa vilket innebär att modifieringen kan ha en osäkerhet på uppskattningsvis någon dB. Det är däremot omöjligt att säga exakt hur stor osäkerheten är och om den är positiv eller negativ. Motsvarande osäkerhet kan mycket väl också finnas i den gamla beräkningen.

Eftersom Q120 (JET 1) till slut resulterade i flygplanstypen Airbus A319 har beräkningarna också utförts med A319-131 som representant av denna grupp av flygplan för att få en uppfattning om skillnaden. Denna känslighetsanalys visar en FBN 55 dB(A)-kurva som skiljer sig mindre än 0,3 dB från beräkningen med Q120. Den minskning av buller från Fokker 28 Mk 4000 som hade presenterats år 1978 visar sig därmed stämma väldigt väl.

### 5.2.4 Typ B

Ur ansökan saknas information om vilken flygplanstyp som användes för flygplansgruppen Typ B, men i bullerberäkningarna för det dåvarande nuläget (år 1978) och prognos (år 1990) användes samma flygplanstyp och eftersom det i ansökan (s. 57) står att Linjeflyg förfogar över ett tiotal Convair 440 så borde detta vara den flygplanstyp som avses att ersättas av Typ B även för trafikfall 4. Däremot saknas det bullerdata för denna flygplanstyp i INM och en ersättningstyp måste användas. Enligt underlaget till beräkning av TFBN för trafikfall 4 ska Convair 580 användas som representant i denna grupp. En Convair 580 är en modifierad Convair 440 som har fått kolvmotorerna utbytt till turbopropellermotorer och de trebladiga propellrarna är utbytt mot fyrbladiga.

I SOU 1975:56 s. 96 [ref.7] står det att Convair 440 är något bullrigare än Fokker VFW-614<sup>46</sup> och i figur 7.13 i samma utredning kan man utläsa att 70 dB(A) kurvan för VFW-614 sträcker sig ungefär 9,5 km från startpunkten. Convair 580, som har fått ersätta 440, har en 70 dB(A) bullerkurva som i INM sträcker sig ca 5,8 km från startpunkten. Därför kan man anta att Convair 580 är mindre bullrig än Convair 440 och den ersättningen leder om något till mindre startbullerkurvor än om Convair 440 hade används som typrepresentant i beräkningen. För landningar sträcker sig bullerkurvan för VFW-614 och Convair 580 båda ca 9 km. Dessutom är CVR580 standard ersättningstyp i INM för Fokker 50, ett turbopropellerflygplan och en flygplanstyp som är vanligt förekommande idag. Därför är slutsatsen att det är rimligt att ersätta Typ B med Convair 580.

<sup>46</sup> Fokker VFW-614 var ett tvåmotorigt jettflygplan som togs ur bruk för civil trafik på tidigt 80-tal.

### 5.2.5 Affärsjet

Flygplansgruppen Affärsjet är sämre beskriven i ansökan än Typ B. Tolkningen av ansökan år 1978 och dess bilagor är att det sannolikt inte kan vara Learjet 24 eller 25 eftersom dessa redovisas separat för trafikfall 1, 2 och 3. I underlaget till beräkningen av TFBN för trafikfall 4, [ref.9], finns noterat att Affärsjet representeras med Learjet 35 och det har bestämts med utgångspunkt av flygplanstypen Falcon 10. Learjet 35 var år 1978 en modern flygplanstyp. Learjet 35 används också i den nya beräkningen, men dess standard ersättningstyp i INM är Learjet 36 som har liknande bulleregenskaper.

Två känslighetsanalyser har gjorts i denna grupp:

1. Learjet 25 används som typflygplan istället för Learjet 36 i gruppen
2. Inga rörelser med affärsjet överhuvudtaget

Första analysen, det vill säga ersättningen med Learjet 25, resulterade i en fördubblad area av utbredningen för FBN 55 dB(A) och den andra ytterligheten som analyserats resulterade i en bullerkurva som minskade med ungefär 1 dB(A). Detta innebär att bidraget från Learjet 36 till FBN 55 dB(A)-kurvan är av storleksordningen 1 dB. Vilket medför att om Learjet 36 ersätts med vilket annat flygplan som helst så skulle bullerexponeringen som mest kunna minska 1 dB om den nya flygplanstypen var helt tyst. I det fallet Learjet 36 inte är en representativ flygplanstyp för gruppen affärsjet förväntas bullerexponeringen därför öka.

### 5.2.6 En- och två motoriga propellerflygplan

Flygplansgrupperna Enmotorigt propellerflygplan och helikopter samt Tvåmotorigt propellerflygplan saknar också representerande flygplanstyp i ansökan och ersätts med de standardtyper som idag används, det vill säga INM-typerna GASEPF<sup>47</sup> och BEC58P<sup>48</sup>. Detta innebär att noggrannheten i beräkningen är exakt densamma för dagens utfall och trafikfall 4 med 2012-års metod.

### 5.2.7 Felkällor jämfört med utfallsberäkningen år 2011

Sammanfattningsvis kan man dela upp felkällorna i fyra olika grupper som består av: källdata, matematiska modeller (för beräkning av ljudutbredning, absorption, etc.), val av flygplanstyp samt antal rörelser och flygvägar.

Vad gäller källdata så är uppfattningen att de ljudnivåer som i dagsläget finns uppmätta är mycket noggrannare än de som fanns att tillgå år 1978. Då ljudnivåerna för Q120 finns noggrant specificerade är den flygplanstypen korrekt beräknad i den nya beräkningen med en osäkerhet på högst någon dB. De andra flygplanstyperna används utan justering av ljudnivåer på samma sätt som

<sup>47</sup> General Aviation Single Engine Propeller Fixed

<sup>48</sup> Beechcraft Baron 58P



flygplanstyperna i utfallet år 2011 och eventuella osäkerheter i källdata påverkar kurvorna i omräkningen av trafikfall 4 och utfall år 2011 på likartat sätt.

De matematiska modellerna vad gäller ljudutbredning och atmosfärisk absorption har förbättrats sedan den ursprungliga beräkningen utfördes. Förutom markdämpningseffektens påverkan och hänsyn till terrängens höjdvariation är det svårt att uppskatta hur stora skillnaderna mellan gamla och nya modellen är. Även i detta fall är eventuella osäkerheter likvärdiga för omräkningen av trafikfall 4 och beräkningen av utfallet år 2011 eftersom samma beräkningsmetod används.

Val av flygplanstyp har en stark påverkan på bullerkurvornas utbredning och för utfallet år 2011 kan en representerande flygplanstyp relativt enkelt väljas. För omräkningen av trafikfall 4 så finns den största osäkerheten av representerande flygplanstyp i gruppen Affärsjet. För att undersöka hur stort bidraget är från denna flygplansgrupp så har omräkningen också utförts helt och hållet utan Affärsjet, som ovan nämnts, och i genomsnitt så bidrar denna flygplansgrupp med ca 1 dB till FBN-kurvorna när den representeras av Learjet 36. Detta innebär att vilken flygplanstyp som än representerar gruppen Affärsjet resulterar i en bullerkurva beräknad med 2012-års metod som är större än både trafikfall 4 beräknad av FFA år 1978 och utfallet 2011 beräknat med 2012-års metod. Att bullerkurvan för trafikfall 4 blir större beräknad med 2012-års metod än med 1978-års metod beror därför inte på val av representerande flygplanstyp i denna grupp.

Antal rörelser och användningen av flygvägar har, som redan nämnts, modellerats på samma sätt som den ursprungliga beräkningen. För utfallet år 2011 har faktiska radarspår legat till grund för modellering av flygvägar. Därigenom kan utfallet för år 2011 jämföras med omräkningen av trafikfall 4 utan förbehåll.

Trots att den absoluta onoggrannheten är av storleksordningen  $\pm 3$  dB<sup>49</sup> är den relativa onoggrannheten mellan omräkningen av trafikfall 4 och utfallet år 2011 mycket mindre än så. Bullerkurvornas relativa skillnad är därmed att betrakta som korrekt. Därför bör FBN för utfall av dagens situation jämföras med FBN för trafikfall 4 med dagens beräkningsmetod.

### 5.3 Sammanfattning

Sammanfattningsvis visar känslighetsanalyserna av indata till 2012-års beräkningsmetod av FBN för trafikfall 4 att storleken på den bullerexponerade ytan sannolikt inte är överskattad. Jämförelse mellan beräkningar bör ske med samma metoder för att minimera fel för bland annat: beräkningsmodell (ex. markdämpning, terräng, operativa procedurer), beräkningsverktyg (ex. numeriska metoder, källdata och källdatahantering) och karthantering (koordinatsystem och referenspunkter). Ur en beräkningsteknisk synvinkel är 2012-års beräkningsmetod

<sup>49</sup> Beräkningssonoggrannheten för ekvivalenta ljudnivåer anges i SAE (Society of Automotive Engineers) Aerospace Standards AIR 1845 till  $\pm 3$  dB genom kontrollerade inmätningar.

av trafikfall 4 mest lämpad som referensbullerkurva för jämförelse av utfall från dagens trafikvolym. Osäkerheter i beräkningsmetoden blir därmed minimerade eftersom ”äpplen jämförs med äpplen” och full dokumentation av beräkningsmodell finns genom kvalitetssäkringsdokumentet och handböckerna till INM.

#### 5.4 Vidare utredningar

Vissa av de osäkerheter som framförs i ovanstående stycke skulle eventuellt kunna klargöras med en rapport som ännu inte kunnat tas fram, HU-2002 [ref.11] (se även kapitel 6.2). Det handlar främst om osäkerheter vid val av flygplanstyp och inte specifika bullernivåer då den här utredningen antar att ljudnivåerna som finns specificerade i INM är bättre uppmätta och mer tillförlitliga än de som fanns att tillgå år 1978. Bulleremissionen från olika flygplansmodeller kan dock variera flera decibel, vilket kan resultera i en annan utformning av FBN för trafikfall 4 än den som redovisas här. Beräkningen av referensbullerkurvan, FBN för trafikfall 4, med 2012-års metod kan därför påverkas av innehållet i FFA rapporten HU-2002.

## 6 REFERENSER

### 6.1 Referenser i löptext

1. Koncessionsnämnden för miljöskydd, Beslut Nr 141/79, Dnr 59-160/78, Stockholm 1979-07-13
2. Luftfartsverkets ansökan om miljötillstånd, dokument: A 597/78-1104, 1978-05-18
3. Bilaga 10 till ansökan [ref.2], FFA Rapportnummer: HU-2114, Flygbullerberäkningar Bromma Flygplats för åren 1980, 1985 och 1990 av Bengt Fahlgren, Stockholm 1978
4. Kvalitetssäkringsdokument för flygbullerberäkningar, url: [http://www.transportstyrelsen.se/Global/Luftfart/Miljo/kvalitetssakringsdokument\\_flygbuller.pdf](http://www.transportstyrelsen.se/Global/Luftfart/Miljo/kvalitetssakringsdokument_flygbuller.pdf)
5. Akustikbyrån teknisk rapport 95131-01, Jämförelse mellan beräkning av flygbuller vid Bromma flygplats utförd 1978 och beräkning utförd 1995. 1995-11-27 av Bengt Simonsson
6. FFA-Rapport HU-2002:1 ”Flygbullermätningar Bromma flygplats”
7. Statens Offentliga Utredningar, SOU 1975:56 Trafikbuller del 2 Flygbuller, ISBN 91-38-02259-1
8. Airbus historia: url: <http://www.airbus.com/company/history/the-timeline/>
9. Underlag för TFBN-beräkning av trafikfall 4 Bromma flygplats finns i kalkylblad beskrivandes förutsättningar och bakgrund till TFBN-beräkningen som kontrolleras enligt dagens miljövillkor och tilläggsavtal med Stockholm Stad.
10. TFBN-metoden som används finns beskriven i Stockholm-Bromma flygplats – Kompletteringar till teknisk beskrivning tillhörande ansökan om villkorsändring enligt miljöskyddslagen, Stockholm november 1995. Beräkningsmetoden är enligt Dansk metodik och framtagen av Danish Acoustical Institute, October 1987, Noise Control at Airports/Airfields, ISBN 87-7280-008-9
11. FFA-Rapport HU-2002 ”Flygbullerberäkningar Bromma flygplats” saknas, men finns på krigsarkivet, där den är beställd, men ej levererad. Denna rapport antas bättre beskriva beräkningsförfarandet. Se även kapitel 6.2.

## 6.2 Arkivkällor

Alla handlingar som berör ansökan från 1978 finns i Riksarkivet i Arninge och finns på följande plats:

*Originalbeslutet:*

Koncessionsnämnden för miljöskydd  
Beslut 1979 nr 120-155

*Akthandlingar:*

Koncessionsnämnden för miljöskydd  
1978 EI:702 - Dnr: 160 (I)  
1978 EI:703 - Dnr: 160 (II)  
1978 EI:704 - Dnr: 160 (III)

Den rapport som ännu ej har kunnat tas fram är:  
FFA-Rapport HU-2002 ”Flygbullerberäkningar Bromma flygplats”

Och finns på följande plats i Krigsarkivet i Stockholm:

Flygtekniska Försöksanstalten  
Förteckning: 609 (H)  
Seriesignum: B1  
Tid: 1977-1980  
Volym: 163

## 7 BILAGA

### 7.1 Bullerkurvor i A4-format för FBN 55 dB(A)