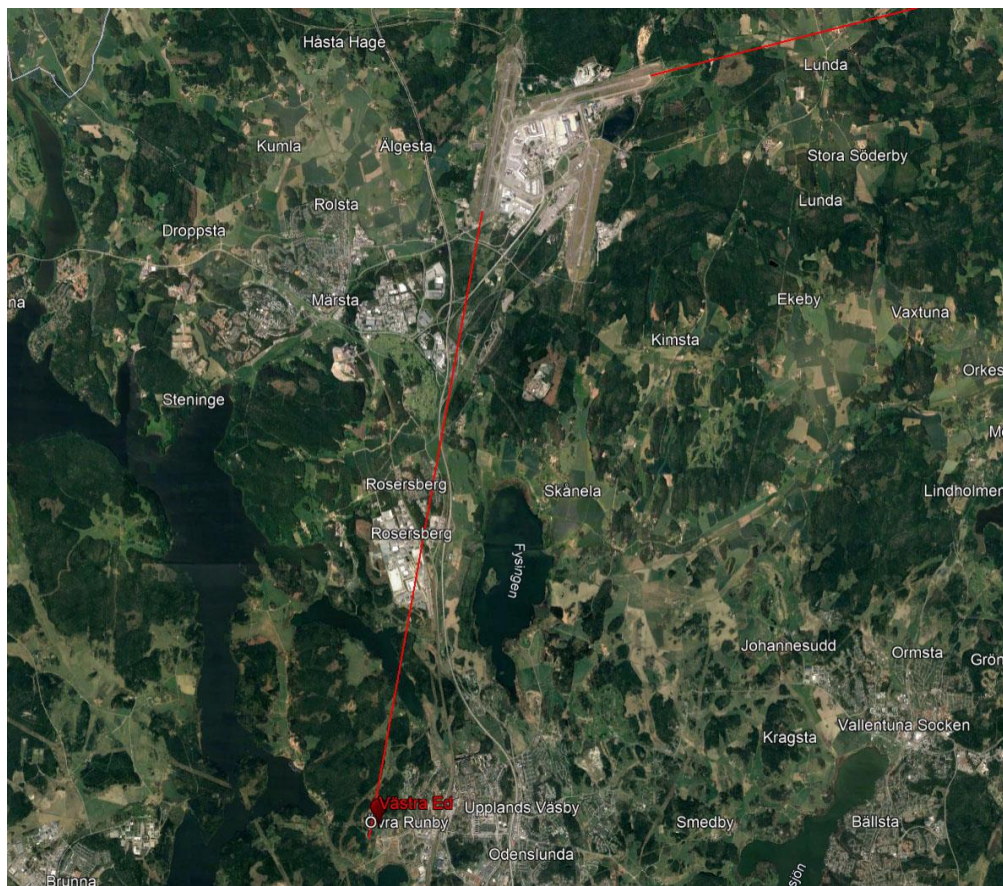


## Utredning rörande förväntade flygbullernivåer (FBN) i Västra Eds allé

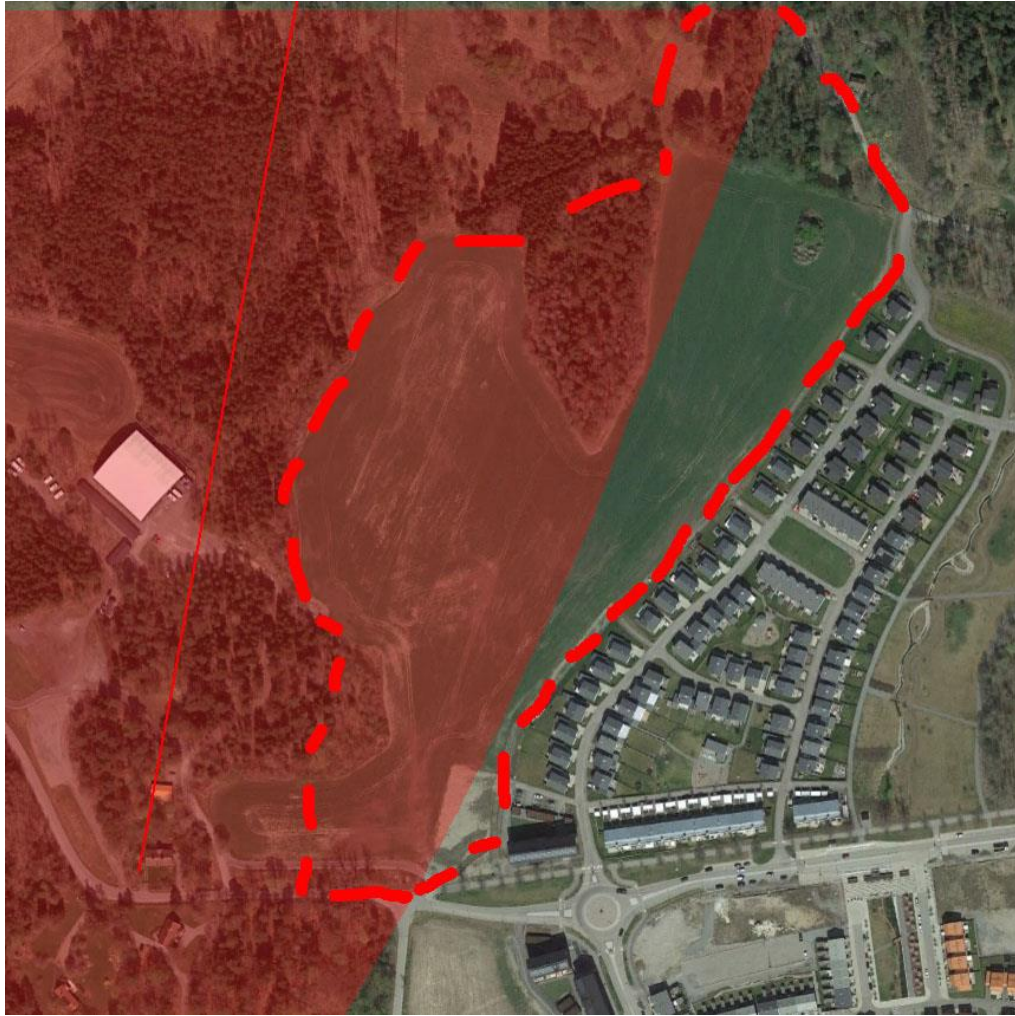
### 1. Bakgrund

På uppdrag av Upplands Väsby kommun har Vernamack AB utrett hur faktiska flygbullernivåer kan förväntas vara i området Västra Eds allé i framtiden. Detta eftersom kommunen planerar att bygga i området och Västra Eds allé ligger under inflygningen till bana 01L på Stockholm Arlanda flygplats.



*Bild 1. Översiktsbild över Upplands Väsby och Arlanda. Det aktuella området och inflygningen till bana 01L på Arlanda markerade i rött*

Det innebär också att en del av området ligger inom det så kallade "riksintresset" för Arlanda flygplats vilket kan innebära begränsningar av hur det är möjligt att bygga i området. Det tilltänkta byggområdet kallas nedan "Västra Ed" och med det avses endast det område som kommunen har tänkt att exploatera.



*Bild 2. Det aktuella området. Byggområde i streckad röd markering. Inflygningen till bana 01L på Arlanda i heldragen röd linje. Riksintressepreciseringen för Arlanda i skuggat rött.*

## **2. Styrande dokument, regelverk och annan relevant dokumentation.**

Vernamack har baserat sina bedömningar på dokumenten *Riksintresseprecisering för Stockholm Arlanda Airport* [1], *Stockholm Arlanda Airport Beräkning av influensområde med avseende på flygbuller inom arbete med riksintresseprecisering* [2], *Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar - Underlag för en enhetlig tillämpning* [3] och *Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader* [4] (Trafikbullerförordningen). I utredningen har även Naturvårdsverkets *Vägledning om buller från väg- och spårtrafik på skolgårdar* [5] samt *Riktvärden för buller från väg- och spårtrafik vid befintliga bostäder* [6] tagits i beaktande, även om det buller som utredningen gäller inte kommer från väg eller spårtrafik, samt Naturvårdsverkets webbplats *Tillsynsvägledning – Buller från flygtrafik och flygplatser* [7]. Även FN-organet World Health Organization (WHO) har givit ut riktlinjer om buller och därför har även deras *Environmental Noise Guidelines for the European Region* [8] tagits med i

bedömningen. Underlag om nu gällande villkor på Stockholm Arlanda flygplats har hämtats från mark- och miljödomstolens deldom i mål M 2284-11 daterad 2013-11-27 och Mark- och miljööverdomstolens dom i mål M 11706-13 daterad 2014-11-21, mark- och miljödomstolens deldom i mål M 2284-11 daterad 2017-05-17 samt mark- och miljödomstolens dom i mål M 6547-2020-11 daterad 2021-10-15. För vid dags dato tillståndsgivna trafikvolym och användning av bana 01L har även information hämtats från kapitel 5 i miljökonsekvensbeskrivningen till Swedavias "Ansökan om nytt miljötillstånd till verksamheten vid Stockholm-Arlanda airport" daterad 29 april 2011.

Från dokumentationen ovan kan särskilt noteras att i trafikbullerförordningen anges rörande buller från flygplatser att:

#### **Buller från flygplatser**

*6 § Buller från flygplatser bör inte överskrida 55 dBA FBN och 70 dBA maximal ljudnivå flygtrafik vid en bostadsbyggnads fasad.*

*För buller från flygplatser i Stockholms kommun gäller inte den begränsning som anges om maximal ljudnivå flygtrafik i första stycket mellan kl. 06.00 och 22.00.*

*7 § Om den ljudnivå om 70 dBA maximal ljudnivå flygtrafik som anges i 6 § första stycket ändå överskrids, bör nivån inte överskridas mer än*

- 1. sexton gånger mellan kl. 06.00 och 22.00, och*
- 2. tre gånger mellan kl. 22.00 och 06.00.*

*För buller från flygplatser i Stockholms kommun gäller inte den begränsning som anges i första stycket 1.*

I Naturvårdsverkets tillsynsvägledning för flygtrafik [7] anges att:

*"Tabell 1: Riktvärden för flygtrafikbuller vid undervisnings- och vårdlokaler*

<i>Utomhus vid undervisningslokaler</i>	<i>55 dB(A) FBN</i>	<i>70 dB(A) L<sub>Amax</sub></i>
<i>Utomhus vid vårdlokaler</i>	<i>55 dB(A) FBN</i>	<i>70 dB(A) L<sub>Amax</sub></i>

*Samtliga värden avser frifältsvärden vid fasad. Maxnivån ska redovisas med tidsvägning "slow". Riktvärdet för maxnivån ska gälla under den tid verksamhet pågår i lokalen.*

*Riktvärdena ovan bör även gälla för vistelsemiljöer utomhus i direkt anslutning till lokalerna, dvs på förskolegårdar, skolgårdar och på eventuella gårdar och uteplatser vid vårdlokaler. På skol- och förskolegårdar avser nivåerna de delar av gården som är avsedda för lek, rekreation och pedagogisk verksamhet."*

Samtidigt skriver Naturvårdsverkets i sin publikation *Vägledning om buller från väg- och spårtrafik på skolgårdar* [5] att:



*”Ljudnivån 50 dBA bör alltid uppnås vid så stor del av varje skolas utevistelseyta som möjligt, det vill säga vid minst halva skolgårdens yta, såväl vid nyplanering som vid befintliga verksamheter. Riktvärdet bör så långt möjligt även uppfyllas vid de delar av skolbyggnadens fasader som vetter mot ljudskyddad sida, normalt skolgård och utevistelseytor. För övriga ytor utomhus bör målsättningen vara att klara 55 dBA. Värdena avser ekvivalent ljudnivå för dygn.”*

Skillnaden på 5 dBA i de olika fallen kan härledas till olika mätmetoder vilket förklaras nedan. Men i den senare vägledningen ges även förslag och rekommendationer på åtgärder som kan genomföras så att ljudnivåerna på en skolgård inte överstiger de rekommenderade värdena.

### 3. Bullermätningar

Som underlag för bedömningen har även mätning av buller från 34 428 landningar på bana 26 vid Arlanda använts. Mätningarna har gjorts inom projektet ULLA vid Centrum för hållbar luftfart vid Kungliga tekniska högskolan (KTH) [9]

De mätningar som gjorts inom ULLA-projektet har utförts på ett avstånd av 13 430 meter från bana 26 på Arlanda. Västra Ed ligger på ett avstånd av 13 545 meter från bana 01L. Markförhållandena är desamma och flygplanens höjd över de bägge områdena kommer vara desamma. Det flygoperativa förutsättningarna är också så gott som identiska i de två punkterna. Det finns därför mycket goda skäl att anta att bullret från ankommande flygplan som flyger över Västra Ed kommer att vara på samma nivåer som bullret från de flygplan som flugit över den punkt där mätningar utförts.

### 4. Swedavias och Trafikverkets tidigare redovisade beräkningar

Det kan redan från Trafikverkets [1] och Swedavias [2] dokument konstateras att:

- Fram till och med år 2070 så kommer Västra Ed inte ha vare sig flygbullernivåer (FBN-nivåer) eller maxbullernivåer som överskrider angivna värden i Trafikbullerförordningen [4]. Dvs. FBN-nivåerna kommer vara lägre än 55 dBA och maxbuller kommer inte överstiga 70 dBA sexton (16) gånger per dagperiod.
- Vad gäller FBN-nivåer efter år 2070 så kommer Västra Ed delvis ligga inom det område som enligt riksintressepreciseringen för Stockholm Arlanda Airport [1] har FBN-nivåer över 55dBA.

### 5. Bullerberäkningar - Resultat

Under denna punkt redovisas endast resultaten av bullerberäkningar. För den metodik som använts hänvisas till Appendix A nedan. Beräkningar av FBN-nivå har utförts baserat på de trafikvolymen, den bananvändning och den mix av olika flygplanstyper som enligt Trafikverket [1] och Swedavia [2] kommer vara tillämpliga åren nuläge - 2038, 2038-2070 samt 2070 och framåt. Se Appendix A för detaljer.

FBN-nivån beräknas enligt formeln nedan. Bullernivån dagtid,  $L_{day}$ , används för buller mellan

kl. 06 – 18, bullernivån kvällstid,  $L_{evening}$ , för buller kl. 18- 22 och buller nattetid,  $L_{night}$ , för buller kl. 22 – 06. Vid beräkning av totala FBN-nivån bör noteras att flygbuller kvällstid justeras upp med 5 dBA och nattbuller med 10 dBA vid beräkningen.

$$FBN = L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

*Formel 1. Formel för beräkning av FBN-nivå*

Baserat på de genomförda bullermätningarna samt på de beräkningar Vernamack har utfört, så kan det konstateras att det på den givna platsen i Västra Ed med största sannolikhet är så att:

- För perioden fram till år 2070 så kommer buller dagtid,  $L_{day}$ , vara maximalt 47 dBA, buller kvällstid,  $L_{evening}$ , kommer vara maximalt 47 dBA och buller nattetid,  $L_{night}$ , kommer att vara maximalt 44 dBA.  
Total FBN-nivå kommer vara maximalt 52 dBA.
- Efter år 2070 så kommer buller dagtid,  $L_{day}$ , vara 50 dBA, buller kvällstid,  $L_{evening}$ , kommer att vara 50 dBA och buller nattetid,  $L_{night}$ , kommer vara 45 dBA.  
Total FBN-nivå kommer att vara 53 dBA
- Maxbuller kommer att överskrida 70 dBA:
  - Maximalt sex (6) gånger per dagperiod till och med år 2070
  - Maximalt tio (10) gånger per dagperiod efter år 2070
  - Maximalt två (2) gånger per nattperiod till och med år 2070
  - Maximalt tre (3) gånger per nattperiod efter år 2070

Till resultaten ovan kan det konstateras att i de utförda mätningarna så står 30 % av materialet av mätningar från flygplanstyper som förväntas vara föråldrade år 2070 och som då enligt [2] kommer vara ersatta av flygplanstyper som bullrar mindre. Vernamack delar den bedömning som görs i [2]. Baserat på det så kan de FBN-beräkningar som utförts på uppmätt buller anses vara konservativa.

Dessutom har vid justering av mixen av flygplanstyper i bullerberäkningen, för enkelhet i beräkningarnas skull, sammanlagt 668 st. extra flygningar av de större flygplanstyperna A350, B747 och B787 lagts till materialet. Detta medför en överskattning av trafikvolymen med 1,2 %, vilket endast marginellt påverkar resultatet, men ändå gör att beräkningen kan anses vara konservativ. Dvs. buller snarare överskattas än underskattas.

Slutligen ska också tas i beaktande att så kallade kurvade inflygningar inte har tagits med i beräkningen av resultaten ovan, vilket även det gör att ovanstående resultat måste betraktas som absoluta maxvärden för Västra Ed.

## 6. Diskussion

Som direkt kan konstateras så visar beräkningarna på att baserat på de utförda bullermätningarna, plus korrektion för den begränsade mängden större flygplan i mätningarna, så kommer både FBN-nivåer och maximala bullernivåer i Västra Ed i framtiden vara lägre än den nivå som finns i Trafikbullerförordningen och inte som antas i riksintressepreciseringen att, FBN-nivån kommer vara över 55 dBA i vissa delar av området. Detta stöder sig på de i stort antal utförda mätningarna och de i sammanhanget relevanta resultaten från projekten Brantare [10], ERAS [11] och OPNOP [12] vid KTH, vilka visat att flygoperationella förfaranden måste beaktas vid bullerberäkningar av specifika områden under en inflygning. En tillämpning som också stöds i ECAC Doc. 29. [13].

Något som inte har tagits med i beräkningarna är det aktuella områdets utbredning. I Bild 3 nedan visas därför förenklat hur avståndet till flygplanen påverkar bullernivåerna. De beräkningar som gjorts motsvarar bullervärden på den orangea linjen i bilden. Längst österut är bullernivåerna något lägre på grund av att avståndet till flygplanen är knappt 90 m större. Beräkning av bullerreduktion på grund av avstånd eller atmosfärsdämpning har inte redovisats separat. Den intresserade kan hitta ett antal webbplatser på Internet för att enkelt beräkna dessa två effekter, exempelvis <https://sengpielaudio.com/calculator-distance.htm> och <https://sengpielaudio.com/calculator-air.htm>.

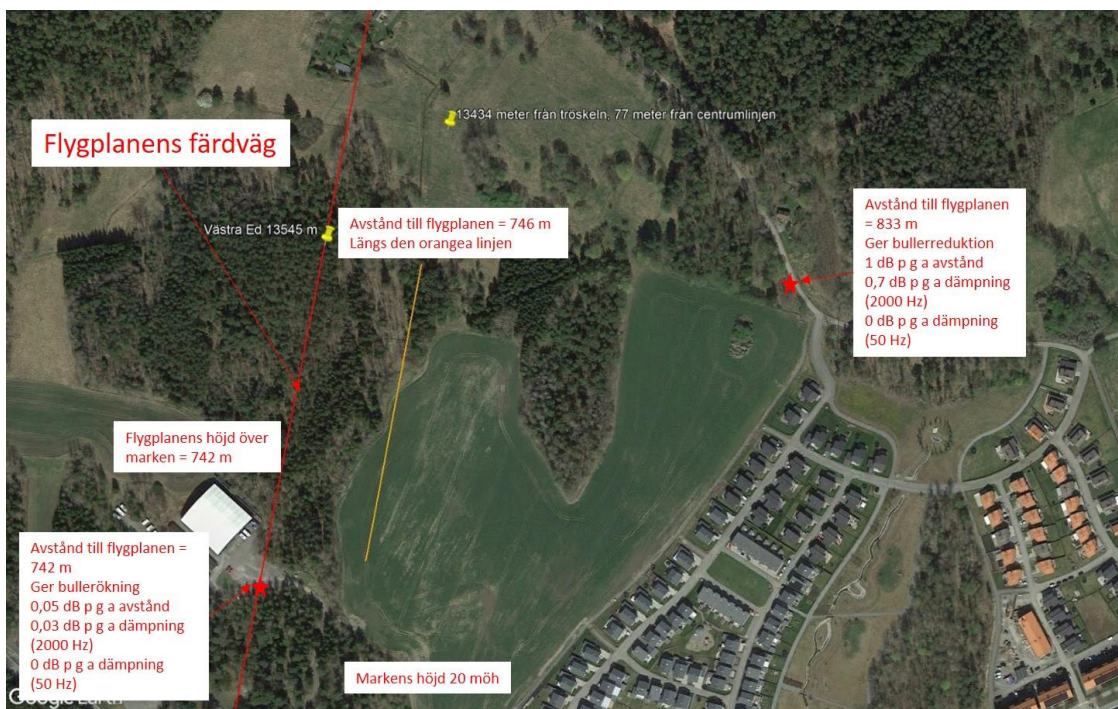


Bild 3. Översiktlig beskrivning av hur olika avstånd påverkar bullerutbredningen i det aktuella området.

Generellt kan sägas om denna teoretiskt beräknade skillnad i bullernivåer, att vid en samtidig jämförelse av två olika bullerkällor med denna differens så skulle en försöksperson kunna avgöra vilken av de två källorna som hade högst bullernivå. Om försökspersonen däremot

skulle lyssna på bullerkällorna vid två olika tillfällen så skulle personen inte med säkerhet kunna avgöra vilken av bullerkällorna som hade högst nivå. Markens beskaffenhet samt placering av byggnader och vegetation i syfte att om möjligt skärma av eller förhindra reflektion av buller, kommer ha avsevärt större betydelse än den teoretiska skillnaden i flygbuller vid områdets västra respektive östra gränser.

Den föreslagna bebyggelsens geografiska utbredning visar också att det vid anläggning av olika byggnader bör kunna tas i beaktande att det flygbuller som påverkar området kommer från en viss riktning. Exempel på sådana förfaranden ges av Naturvårdsverket både i [5] och [6]. Denna riktning är inte med självklarhet när flygplanen är som närmast utan kan vara när flygplanet de facto har passerat området. Något som exempelvis projektet ULLA [9] har berört. Innan en slutlig utformning av byggnader bestäms bör detta utredas ytterligare.

Om allt ovan sammanlagt sen innebär att det är lämpligt att använda Västra Ed som Bild 2 visar är en mer komplex fråga. WHO redovisar i [8] att det finns stöd för att inlärningssvårigheter skulle kunna bli en följd av störning från flygplansbuller. De har dock valt att på sid. 76 i sina rekommendationer sammanfatta att det endast finns medelstarkt (eng. "moderate") stöd för att det från en FBN-nivå på 45 dBA kan skapas irritation (eng. "annoyance") och att det först från 55 dBA likaledes kan finnas ett medelstarkt stöd för risk för inlärningssvårigheter.

- Evidence for a relevant absolute risk of annoyance at 45 dB  $L_{den}$  was rated moderate quality.
- Evidence for a relevant RR increase of impaired reading and oral comprehension at 55 dB  $L_{den}$  was rated moderate quality."

Dessa värden relaterar väl med de 50 dBA som Naturvårdsverket har som rekommendation för minst hälften av en skolgårds yta och därutöver maximalt 55 dBA vad gäller för buller från väg- och spårtrafik.

Värdena stämmer också väl med den tillsynsvägledning som Naturvårdsverket publicerat för buller från flygtrafik vid undervisningslokaler som anger en FBN-nivå på 55 dBA under den tid verksamhet bedrivs i lokalerna. Det är rimligt att den nivån ligger 5 dBA över nivån för väg- och spårtrafik, eftersom FBN-nivån har en uppräknig av buller med 5 dBA för kväll och 10 dBA för natt. Detta är något som även Swedavia noterar i [2].

Vad gäller maximal ljudnivå om 70 dBA så anger Naturvårdsverket i sin tillsynsvägledning inget antal tillfällen per dygn som detta kan överskridas, vilket görs i Trafikbuller-förordningen. Vid kontakt med Naturvårdsverket [14] så anger ansvarig handläggare att detta ska tolkas som att det är en stark rekommendation att den som uppför en ny skola ska vidta alla rimliga åtgärder för att minimera överskridanden av 70 dBA maxnivå, men att det är förståeligt att det är omöjligt att komma till ett läge där sådana överskridanden aldrig sker. På liknande sätt ska vägledningen även tolkas som att det inte är acceptabelt att uppföra en ny undervisningslokal där det kan antas att överskridanden av 70 dBA maxnivå kommer ske oftare än 16 gånger per dag, vilket är det antal som anges i Trafikbullerförordningen.

Naturvårdsverkets handläggare var vid tillfället också medveten om att även utanför det område som är klassat som riksintresse för Arlanda, så kommer överskridanden av maximal ljudnivå 70 dBA att inträffa.

## 7. Slutsatser och rekommendationer

Baserat på den granskning och de beräkningar Vernamack AB har utfört så är bedömningen att hela området i Västra Ed har förutsättningar att användas på det sätt som kommunen önskar och som finns översiktligt beskrivet i Bild 2 ovan.

Med beaktande av både WHO:s och Naturvårdsverkets riktlinjer och vägledning rekommenderas dock starkt att både skolgård, byggnader och vegetation utformas på ett sådant sätt att effekterna av flygbuller minimeras.

Vad gäller buller utomhus på skolgård är det särskilt viktigt att utreda i vilken riktning (direktivitet) det mest besvärande bullret kommer ifrån. Byggnader och skolgårdars utformning bör sedan anpassas därefter.

Vad gäller undervisnings- och vistelsemiljö inomhus bör mycket stor vikt läggas vid adekvat ljudisolering. Att det går att konstruera och bygga inomhusmiljöer som ligger avsevärt mer utmanande till än Västra Ed men ändå har helt störningsfri innemiljö är exempelvis Hiltons hotell på Frankfurt Mains flygplats, som ligger direkt under inflygningen till bana 25R där flygplanen passerar på 180 meters höjd, till skillnad mot 740 meters höjd i Västra Ed.

## 8. Kvalitetskontroll

Alla metoder och utförda beräkningar har granskats av det oberoende konsultföretaget A2 Research AB i Helsingborg. Både metoder och resultat har bedömts som relevanta och korrekta.

Vernamack AB  
Bengt Moberg



## 9. Referenser

- [1] Trafikverket, Riksintresseprecisering för Stockholm Arlanda Airport, Sundbyberg: Trafikverket, 2021-03-31.
- [2] Swedavia, Stockholm Arlanda Airport Beräkning av influensområde med avseende på flygbuller inom arbete med riksintresseprecisering, Sigtuna: Swedavia, 2020.
- [3] Försvarsmakten, Naturvårdsverket, Transportstyrelsen, "Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar - Underlag för en enhetlig tillämpning," Försvarsmakten, Naturvårdsverket, Transportstyrelsen, Stockholm - Stockholm -Norrköping, 2011.
- [4] Sveriges Riksdag, Landsbygds- och infrastrukturdepartementet SPN, "Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader," 09 04 2015. [Online]. Available: [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2015216-om-trafikbuller-vid\\_sfs-2015-216/](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2015216-om-trafikbuller-vid_sfs-2015-216/). [Använd 20 12 2023].
- [5] Naturvårdsverket, "Vägledning om buller från väg- och spårtrafik på skolgårdar," Naturvårdsverket, Stockholm, 2023.
- [6] Naturvårdsverket, "Riktvärden för buller från väg och spårtrafik vid befintliga bostäder," Naturvårdsverket, Stockholm, juni 2017.
- [7] Naturvårdsverket, "Tillsynsvägledning - Buller från flygtrafik och flygplatser," 12 07 2018. [Online]. Available: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/buller/buller-fran-flygtrafik-och-flygplatser/>. [Använd 23 04 2024].
- [8] World Health Organization, "Environmental Noise Guidelines for the European Region," WHO Regional Office for Europe, Köpenhamn, Danmark, 2018.
- [9] Kungliga Tekniska Högskolan, KTH, "Centrum för hållbar luftfart - ULLA," [Online]. Available: <https://www.kth.se/csa/projekt/pagaende-projekt/ulla-1.979419>. [Använd 20 12 2023].
- [10] B. M. P. N. Johan Rignér, "Centrum för hållbar luftfart - Brantare," [Online]. Available: <https://www.kth.se/csa/projekt/avslutade-projekt/brantare-1.995579>. [Använd 20 12 2023].

- [11] B. Moberg, "Centrum för hållbar luftfart - ERAS," [Online]. Available: <https://www.kth.se/csa/projekt/avslutade-projekt/eras-1.977639>. [Använd 20 12 2023].
- [12] B. Moberg, "Centrum för hållbar luftfart - OPNOP," [Online]. Available: <https://www.kth.se/csa/projekt/avslutade-projekt/opnop-1.977525>. [Använd 20 12 202].
- [13] European Civil Aviation Conference, "ECAC.CEAC Doc 29 -Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports," European Civil Aviation Conference, Neuilly-sur-Seine, Frankrike, 2016.
- [14] L. Johansson, Intervjuad, *Handläggare Naturvårdsverket*. [Intervju]. 25 04 2024.

## Appendix A - Beräkningsmetodik

### Mätningarna

Från projektet ULLA [9] finns mätvärden på buller från 34 428 passager av flygplan in till bana 26 på Arlanda som har samlats in av Centrum för hållbar luftfart vid KTH under perioden april 2019 till maj 2021.

De mikrofoner som användes under projektet samlade kontinuerligt in data om det ljud som förekom på de platser där de var uppställda. Ljudet registrerades åtta (8) gånger per sekund (8 Hz) och registrerades i tersband i frekvensområdet 50 Hz – 8 000 Hz. Dvs. ljudnivån registrerades för ett antal individuella frekvenser exempelvis 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 125 Hz, 160 Hz o.s.v. upp till 8 000 Hz.

I bullerdatan sparades sedan data för det ljud (buller) som registrerades då ett flygplan passerade över någon av mikrofonerna i projektet. Att ett flygplan passerat över området verifierades med att en flygplanspassage fanns registrerad i databasen hos Open Sky (<https://opensky-network.org/>). För varje passage sparades sedan data för cirka 85 sekunder i en .txt fil per flygning. Varje fil döptes med ett filnamn som visar datum och exakt tid när mätningen genomfördes samt den 24-bitars ICAO kod det passerande flygplanets transponder sände ut (se webbplatsen ovan för mer detaljerad teknisk information om 24-bitars ICAO-kod).

En av de mikrofoner som användes under ULLA-projektet kom av en slump att stå på ett område som är nära nog identiskt med det område i Västra Ed som Upplands Väsby kommun nu önskar exploatera. Detta både vad gäller avstånd till landningsbanan som flygplanet ska landa på, flygplanens höjd över det aktuella området, naturen som sådan samt de flygoperationella förutsättningarna. Det finns därför mycket goda skäl att anta att det flygplansbuller som registrerades under ULLA-projektet är på samma nivåer som det flygplansbuller som finns och kan förväntas i Västra Ed.

### Grund för beräkningarna

För att göra en analys av förväntade framtida flygbullernivåer (FBN) på den aktuella platsen förutsattes trafikvolym, bananvändning och mix av olika flygplanstyper som redovisats av Trafikverket i [1] och Swedavia i [2]. För dagens tillståndsgivna volymer har använts underlag om nu gällande villkor från mark- och miljödomstolens deldom i mål M 2284-11 daterad 2013-11-27, vilken hänvisar tillbaka till alternativ 1 a i kapitel 5 i miljökonsekvensbeskrivningen till Swedavias *”Ansökan om nytt miljö tillstånd till verksamheten vid Stockholm-Arlanda airport”* daterad 29 april 2011.

För att göra en koppling till nuvarande trafikmängd användes trafikvolym för 2019 som finns tillgänglig på sid. 39 i [1].

De trafikfall som användes sammanfattas i tabell 1 nedan.

Tabell 1. Antal landningar på bana 01L vid olika tidpunkter.

År	Totalt antal landningar 01L	Dag KI 06-18	Kväll 18-22	Natt 22-06
2070 -	54 347	34 994	11 475	7 878
2038-2070	32 682	19 436	6 455	6 791
- 2038	28 000	16 000	6 000	6 000
2019	14 098	7 917	2 591	3 590

Eftersom de genomförda bullermätningarna inte har den fördelning av olika sorters flygplansmodeller (flygplansmix) som Swedavia förutsätter i [2] så har detta korrigerats för i program 2b, vars kod finns nedan. Korrigeringen innebär att en mindre mängd slumpmässiga bullerhändelser tas bort från det ursprungliga materialet och ersätts med ett något större antal bullerhändelser som finns registrerade för de större flygplanstyperna A350, B747 och B787. Som helhet kommer mängden bullerhändelser alltså vara något fler vid beräkning av bullernivåer, varför bullernivåerna kommer överskattas något. Flygplansmixen kommer också ha en liten överrepresentation av de större, och potentiellt mer bullergenererande flygplanstyperna A350, B747 och B787.

Samtliga beräkningar gjordes därefter i enlighet med kvalitetssäkringsdokumentet [3], men med den väsentliga skillnaden att bullernivåerna som användes för en flygplanspassage inte var de teoretiska värden som antas vid beräkningar i enlighet med kvalitetssäkringsdokumentet [3] respektive ECAC Doc. 29 [13], utan verkliga uppmätta värden.

Att göra så är rimligt eftersom det både i kvalitetssäkringsdokumentet och det dokument det i sin tur bygger på, ECAC Doc. 29 [13], anges att det är möjligt att använda sig av faktiska mätningar om detta särskilt redovisas. I kap. 9 i ECAC Doc. 29 beskrivs också vikten av att ta hänsyn till faktiska förhållanden och inte bara de teoretiska modellerna då buller ska utredas. Vad gäller tillämpning så hänvisar också det svenska kvalitetssäkringsdokumentet direkt till kap. 9 i ECAC Doc. 29.

Formeln för beräkning av FBN-nivå som sådan finns beskriven i detalj i kvalitetssäkringsdokumentet, men kan också utläsas i klartext i den kopia av Matlab-koden som finns nedan.

#### Beräkningar – FBN, $L_{day}$ , $L_{evening}$ , $L_{night}$

De beräkningar som gjorts har utförts i Matlab med hjälp av tre korta program, de redovisas nedan som program 1, program 2a och program 2b. (kod för programmen redovisas nedan).

I program 1 utfördes följande.



1. En lista med namnen på de 34 428 .txt filer som innehåller bullerdata för de olika flygningarna lästes in av programmet.
2. Listan med filnamnen sorterades om slumpmässigt för att säkerställa att inga säsongeffekter eller liknande skulle påverka vid senare beräkningar då endast delar av den totala mängden flygningar skulle användas för beräkning av FBN-nivåer.
3. Bullerfilerna för var flygning lästes därefter in en efter en. I varje fil finns ett mätvärde för de olika frekvenserna enligt ovan för var 0,125:e sekund. Utifrån dessa värden beräknas ett A-viktat decibelvärde (dBA-värde) med ett värde var 0,125:e sekund (8Hz)
4. dBA-värdet räknades om från Fast till "Slow"<sup>1</sup>, vilket är det dBA-värde som FBN-beräkningen bygger på.
5. Alla dBA värden från en flygning lades därefter i en lista. Denna lista fylldes därefter i tur och ordning med värden från samtliga flygningar. Vid programmets slut sparades denna lista i en fil med filnamn enligt strukturen ÅÅ-MM-DD-tt-mm-ss\_TotallAVektor.mat.
6. För varje flygning noterades det maximalt uppmätta dBA värdet,  $L_{Amax}$ . Alla maxvärden sparades i en separat lista med filnamn enligt strukturen ÅÅ-MM-DD-tt-mm-ss\_Maxbullervektor.mat.
7. För varje flygning noterades den 24-bitars ICAO-koden. Dessa sparades likaledes i en separat lista med filnamn enligt strukturen ÅÅ-MM-DD-tt-mm-ss\_AC.
8. En separat fil där ovanstående data kombinerats. Denna sparades med filnamn enligt strukturen ÅÅ-MM-DD-tt-mm-ss\_ICAONames.mat.
9. Slutligen sparades efter varje körning en Excel-fil där fyra kolumner sparades. I resp. kolumn finns noterat:

Kolumn A.	Filnamn på fil med bullerdata för resp. flygning.
Kolumn B.	$L_{Amax}$ för resp. flygning.
Kolumn C.	24-bitars ICAO-kod för resp. flygning.

---

#### <sup>1</sup> Ljudmätning – "Fast" eller "Slow"?

Ljudnivåmätningar kan vara definierade som "Fast" eller "Slow". Dessa viktningar går tillbaka till den tid då ljudnivåmätare hade analoga mätare och definierade hastigheten med vilken nålen på mätaren rörde sig. Under "Fast" skulle nålen röra sig snabbt för att visa snabbt varierande ljud och under "Slow" skulle nålen dämpas för att jämnna ut bruset och för att vara lättare att läsa. "Fast" motsvarar en tidskonstant på 125 ms, dvs. 8Hz och "Slow" motsvarar en tidskonstant på 1 sekund (1Hz). Eftersom dessa tidskonstanter sattes i standarder har de fortsatt i digitala mätare, som nu beräknas eller simuleras innan de används. Omvandlingen från "Fast" till "Slow" har utförts genom att tillämpa metoden med exponentiellt glidande medelvärde på varje mätserie. Det innebär att ungefär de första 10 punkterna i varje mätserie kommer ha karaktären av att vara uppmätta i "Fast", men eftersom varje mätserie är >> 100 punkter lång så kommer det inte ha någon inverkan på slutresultatet vid beräkning av FBN-nivåerna. Metoden finns beskriven på ett lättfattligt sätt på [https://en.wikipedia.org/wiki/Exponential\\_smoothing](https://en.wikipedia.org/wiki/Exponential_smoothing).

- Kolumn D. Datum och tidpunkt för mätningen för resp. flygning.
10. Program 1 kördes tio (10) gånger för att skapa tio olika filer utdatafiler för att i steg 2 kunna kontrollera att inga slumpmässiga anomalier påverkade slutresultatet av bullerberäkningarna.

Efter att Program 1 skapat utdatafiler i tio olika körningar granskades de primära utdatafilerna ÅÅ-MM-DD-tt-mm-ss\_TotalLaVektor.mat med avseende på slumpmässighet. Anledningen till detta förfarande var att om bullernivåerna från de 34 428 flygningarna inte vore slumpmässigt fördelade så skulle detta kunna påverka slutresultatet vid användning av program 2, eftersom endast olika delmängder av det totala antalet flygningar används vid beräkningarna. Se bild 3 nedan för en kort förklaring.

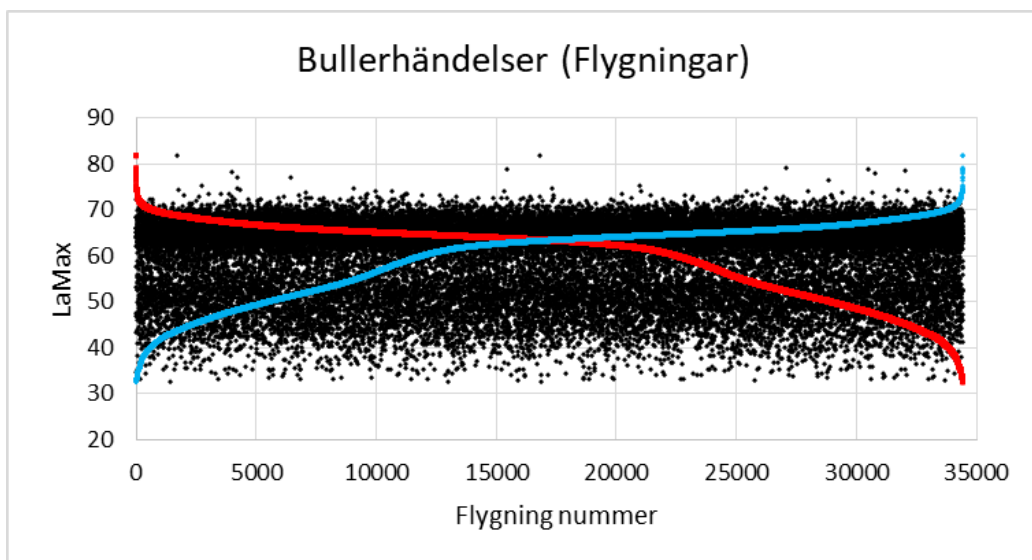


Bild 4. I bilden ovan representeras varje flygning tre gånger. En gång med en svart punkt, en gång med en blå punkt och en gång med en röd punkt. De blå punkterna är ordnade från vänster till höger så att den minst bullrande flygningen finns till längst till vänster och den mest bullrande längst till höger. De röda punkterna är ordnade från vänster till höger så att den mest bullrande flygningen finns till längst till vänster. De svarta punkterna är slumpmässigt fördelade. Om ett urval för att beräkna FBN ska innefatta 15 000 flygningar är det lätt att inse att om urvalet görs av de 15 000 första blå flygningarna så blir resultatet ett helt annat än om urvalet görs av de 15 000 första röda flygningarna. Ett mer rättvisande resultat erhålls om de första 15 000 svarta flygningarna väljs.

I program 2a utförs följande:

1. Filen med det löpande bullret från de 34 428 flygningarna läses in.
2. Allt buller samlas i tre olika listor. En för dagbuller, en för kvällsbuller, vilket är en kopia av dagbullerlistan med 5 dBA adderat i varje position, och en för nattbuller, vilket är en kopia av dagbullerlistan med 10 dBA adderat i varje position.

3. Programmet körs i loop för fyra (4) förutbestämda trafikvolymmer och fördelningar mellan antalet dag-, kvälls- och nattflygningar
4. Programmet beräknar för varje givet scenario antalet dag-, kvälls- och nattflygningar
5. Programmet skapar tomma listor för dag, kväll och natt för var 0,125:e sekund under ett år.
6. Listorna fylls med bakgrundsljud om användaren av programmet väljer att göra så.
7. Baserat på hur stort antal flygningar som antas flyga dag, kväll resp. natt under året, så fylls bullerlistorna för dag, kväll och natt med buller från respektive antal flygningar.
8. Parametrarna  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  och  $L_{night}$  beräknas.
9. FBN-nivån beräknas och resultatet presenteras.

I program 2b utförs i princip samma beräkningar som i program 2a, men för att kompensera för den relativa bristen på flygningar av tyngre flygplan i mätresultatet, kompenserar program 2b för detta.

Det görs genom att buller från ett antal flygningar av flygplanstyperna A350, B747 och B787 läggs till i punkt 7 ovan. För detaljer hänvisas till Matlab-koden för program 2b och den beskrivande texten i koden nedan.

Vilka flygningar i grundmaterialet som utförts av de tre flygplanstyperna kontrollerades genom att identifiera dessa flygplanstyper med hjälp av ICAO-koderna samt den databas över ICAO-koder och flygplansindivider som finns tillgängligt på <https://opensky-network.org/datasets/metadata/>.

## Beräkningar – $L_{Amax}$

För att bestämma hur många flygningar som beräknas generera en maxbullernivå över 70 dBA beräknades kvoten mellan antalet flygningar som genererat buller över 70dBA någon gång under inflygningen och det totala antalet flygningar. En utvärdering av buller från de underrepresenterade flygplanstyperna A350, B747 och B787 gjordes därefter.

## Resultat av beräkningarna – FBN, $L_{day}$ , $L_{evening}$ , $L_{night}$

Beräkningar av  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  och FBN gjordes först med program 2a för alla tio olika utfall av körningen av program 1. Därefter jämfördes resultaten från de tio olika körningarna.

I inget fall avvek något värde för någon resulterande parameter med mer än 0,1 dBA från medelvärdet av de olika körningarna.

Men! För att säkerställa att det slutliga resultatet av utredningen snarare överskattar än underskattar bullernivåer så valdes att i de fortsatta beräkningarna använda den utdatafil från program 1 som gav de högsta värdena vid körning av program 2a.

Slutligen beräknades  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  och FBN-nivå baserat på den korrigerade flygplansmixen för de olika trafikfallen med program 2b. Resultatet av den beräkningen redovisas i tabell 2 nedan.

**Tabell 2.  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  och FBN-nivå vid olika trafikfall och årtal.**

År	Totalt antal landningar 01L	Antal kl. 06-18	Antal kl. 18-22	Antal kl. 22-06	FBN	$L_{day}$	$L_{evening}$	$L_{night}$
2070 -	54 347	34 994	11 475	7 878	53	50	50	45
2038-2070	32 682	19 436	6 455	6 791	52	47	47	44
- 2038	28 000	16 000	6 000	6 000	51	47	47	44
2019	14 098	7 917	2 591	3 590	49	44	44	42

### Resultat av beräkningarna – $L_{Amax}$

I det ursprungliga materialet fanns 1 192 flygningar som någon gång under inflygningen genererade en bullernivå över 70 dBA. Det innebär att  $1\,192 / 34\,428 = 3,46\%$  av flygningarna i mätningarna översteg maxbullernivån 70 dBA.

För de i mätningarna underrepresenterade flygplanstyperna A350, B747 och B787, konstaterades att 1,3 % (22 st.) av 1 634 st. A350-flygningar, 29,4 % (10 st.) av 34 st. B747-flygningar och 2,5 % (19 st.) av 747 st. B787-flygningar genererade ett maxbuller över 70 dBA.

Om hela materialet ska korrigeras för att uppnå den flygplansmix som Swedavia förväntar sig i [2] så ska 5 731 flygningar av andra flygplanstyper i materialet ersättas av flygningar av de underrepresenterade flygplanstyperna. För tidsperioden fram till 2038 ska de ersättas av alla de tre flygplanstyperna, och därefter endast av A350 och B787, eftersom B747 är en äldre flygplanstyp som de facto redan nu håller på att fasas ut. Detta innebär att fram till år 2038 så kan det förväntas att 198 st. flygningar med buller över 70 dBA ersätts av 229 st. varav 176 st. är av B747. Efter 2038 kommer 632 st. B747 flygningar med ersättas med A350 och B787 varför de 176 st. B747-flygningarna ersätts med 4 st. A350 och 8st. B787 över 70 dBA. I första läget får vi 31 st. fler flygningar med buller över 70 dBA än i ursprungsmaterialet, vilket ger att andelen flygningar som genererar maxbuller över 70 dBA blir  $1\,223 / 34\,428 = 3,6\%$ . I andra läget blir det 164 färre flygningar, vilket ger en andel flygningar med maxbuller över 70 dBA förväntas bli  $1\,059 / 34\,428 = 3,1\%$ .



**Tabell 3. Totalt antal landningar på bana 01L per år för givna tidpunkter samt förväntat antal flygningar per år med en maxbullernivå över 70 dBA.**

År	Totalt antal landningar 01L	Antal kl. 06-18	Antal kl. 18-22	Antal kl. 22-06	Antal>70 kl 06-22	Antal>70 kl 22-06
2070 -	54 347	34 994	11 475	7 878	1 441	245
2038-2070	32 682	19 436	6 455	6 791	803	211
- 2038	28 000	16 000	6 000	6 000	792	216
2019	14 098	7 917	2 591	3 590	379	130

För att uppskatta hur dessa överskridanden av 70 dBA ska fördelas över året krävs fakta om hur många dagar per år bana 01L används eller kommer användas för landning. Sådana explicita uppgifter finns varken hos Trafikverket i [1] eller hos Swedavia i [2]. Men om siffrorna i [2] används och en jämförelse görs av totala antalet landningar norrifrån kontra söderifrån kan förväntas att landningar söderifrån, dvs. på banorna 01L, 01A1 eller 01RE, kommer att användas cirka 40% av årets dagar, dvs. 146 dagar. Det innebär i sin tur att antalet överskridanden av max 70 dBA kl. 06-22 kan förväntas bli maximalt 6 st. per dag fram till år 2070 och därefter maximalt 10 st. per dag. För tidsspannet kl. 22 - 06 kan förväntas maximalt 2 st. överskridanden per nattperiod såväl före som efter år 2070.

Om det konservativa antagandet istället görs att trafiken är avsevärt lägre under helger än på vardagar och året antas ha 52\*5 dagar, dvs. 260 dagar, så kommer landningar söderifrån användas 104 av årets dagar vilket ger att antalet överskridanden av max 70 dBA kl. 06-22 kan förväntas bli max 8 st. per dag fram till år 2070 och därefter maximalt 14 st. per dag. För tidsspannet kl. 22 - 06 kan förväntas maximalt 3 överskridanden per nattperiod både före och efter år 2070.

## Matlab-kod

### Program 1

```
%% Detta program läser in bullerdata från filer där bullerdata
% har sparats i tersband från 50 Hz till 8 000 Hz med en
% uppdateringsfrekvens av 8 Hz. Data har samlats in från 34 428 passager
% av flygplan på väg att landa på bana 26 på Arlanda. Insamlingen
% har gjorts inom projektet ULLA vid Centrum för hållbar luftfart vid KTH,
% under perioden april 2019 till maj 2021.

%% Hela programmet ligger i en stor loop för att kunna
% skapa ett antal slumpmässiga versioner av utfilen TotalLaVektor.mat
% så att inte anomalier i den ska kunna ge felaktiga FBN-värden
% senare i processen. Antalet utfiler sätts genom variera variabeln
% 'antal_repetitioner' nedan. En repetition tar mellan 10 och 20 minuter
% att köra på en normal persondator
% Koden är från början skapad 2020 av Anders Johansson vid
% Centrum för hållbar Luftfart vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm.
% Den har därefter kompletterats något 2023-2024 av Bengt Moberg,
% Vernamack AB för att kunna användas av Upplands Väsby kommun,
% och sedan förbättrats ytterligare av Mats Gustavsson vid A2 Research.

antal_repetitioner=1;
for repetitioner=1:antal_repetitioner

    clear all
    close all
    clc

    tic

    Drive = 'C:\';
    RunDIR = 'Users\Bengt\Dropbox\Väsby\Västra Eds alle\';
    FAP_DIR = 'Users\Bengt\Dropbox\Väsby\Västra Eds alle\FAP Buller\';
    StoreDIR = 'NoiseFiles\';
    %% Byt till directory där buller ligger
        cd([Drive FAP_DIR]);

        %% Lägg alla namn på filerna med buller i en struct
        % OBS I structen kommer finnas ett fält med namnet "date"
        % Det är inte datumet då mätningen gjordes utan när filen
        % kopierades över till databasen första gången.

    NoiseFiles = dir(strcat('*', '_dB_', '*'));

    %% Se till att alla fält i structen ordnas om slumpmässigt för att
    % undvika att slutresultat på verkas av väder, snö etc.
    % Som detta är skrivet kommer sorteringen av bullerfiler göras olika
    varje
    % gång programmet körs vilket i slutändan kan innebära att
    slutresultatet
    % i nästa steg av FBN-beräkningar kan komma att variera. Men!
```

```
% Om FBN-beräkningarna inte varierar nämnvärt indikerar det
% att det slutliga resultatet inte i en väsentlig grad är beroende av
% hur fördelningen av flygningar råkat bli i en given utfil.

RandomVector = linspace(1,length(NoiseFiles),length(NoiseFiles));
RandomVector = reshape(RandomVector(randperm(numel(RandomVector))),...
    size(RandomVector));
RandomVector=RandomVector(:);
RandomVector = num2cell(RandomVector);
[NoiseFiles(:).randomorder] =deal (RandomVector{:});
T = struct2table(NoiseFiles); % Ändra struct till table
sortedT = sortrows(T, 'randomorder'); % sortera baserat på 'randomorder'
NoiseFiles = table2struct(sortedT); % Ändra tillbaks till en struct

%% Skapa en lista som innehåller namnen på filerna
NameVector = cell(length(NoiseFiles),1);
for ii=1:length(NoiseFiles)
    NameVector{ii}=NoiseFiles(ii).name;
end

%% Skapa en matris med all bullerdata genom
% att stega igenom alla bullerfiler

% Hämta ut data ur varje fil och lägg i en temporär tabell
% Den ska sen in i en stor matris med allt buller.
%
% Samtidigt ska mätningen i "fast" omvandlas till "slow"
%
% Förbered också för att hitta alla flygningar med ett
% maxbuller över 70dB

TotalLaVector=zeros(1,1);
TotalICAVector=cell(1,1);
LaVector=zeros(1,1);
ICAVector=cell(1,1);
NumberAbove70dBA=0;
Maxbullervektor=zeros(length(NoiseFiles),1);
ICANameVector=cell(length(NoiseFiles),1);
MeasureDateVector=cell(length(NoiseFiles),1);
StopCount=length(NoiseFiles);
Idx0 = 0;% Index for TotalLaVector;
NLaVector = 1000;% well above the average length of LaVector
TotalLaVector = zeros(1,StopCount*NLaVector);
AC_LDose = zeros(StopCount,1);

tic
for bigcount = 1:StopCount

    Namestr=NameVector{bigcount};
    TempoNoiseTable=readtable(Namestr);

    % Plocka fram starttid för bullermätningen genom namnet
    % på bullerfilen

    Name = strsplit(Namestr, '_');
```

```
Decimal=Name(10);

ICAOCode = Name{3};
StartYear = str2double(Name{4});
StartMonth = str2double(Name{5});
StartDay = str2double(Name{6});
StartHour = str2double(Name{7});
StartMinute = str2double(Name{8});
StartSecond =str2double(Name{9});
StartMillisec = split(Name(10),'.txt');
StartMillisec = round(str2double(StartMillisec{1}));
time_stamp = datestr([StartYear, StartMonth, StartDay,...
    StartHour, StartMinute, StartSecond], 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS');

plusM = StartMinute+1;
minusM = StartMinute-1;

if plusM >= 60
    plusH = StartHour+1;
    plusM = plusM-60;
else
    plusH = StartHour;
end

if minusM < 0
    minusH = StartHour-1;
    minusM = minusM+60;
else
    minusH = StartHour;
end

X = table2array(TempoNoiseTable(:,4:26));

t_L = [];
La = [];
time_L =[];
ters = [];

% Omvandla från "Fast" till "Slow"
Y1 = X(1,:);

a=exp(-0.125/1);
% konverterings tidskonstant
[n,~]=size(X);

nTers = 23;
Y2 = zeros(n,nTers);
for ii =1:n

    Y2(ii,:) = (1-a).*X(ii,.)+a.*Y1;
    Y1=Y2(ii,:);
end
```



```
% Plot the original and "slow Smoothed data

% figure(101);clf;colormap('jet')
% subplot(2,1,1),contourf(X)
% subplot(2,1,2),contourf(Y2)
% drawnow
% pause(0.5)

clear X
X=Y2;
clear Y2
x = 10*log10(sum(10.^(X'/10)));
x=x';

dsec = length(x)/8;
dmin = floor(dsec/60);
dsec = (dsec-dmin*60);
dms = (dsec-floor(dsec))*1000;
dsec = floor(dsec)+StartSecond;

if dsec > 60
    dmin = dmin+floor(dsec/60);
    dsec = dsec-60;
else
end

if dmin+StartMinute > 60
    dhour = StartHour+1;
    dmin = dmin+StartMinute-60;
else
    dmin = dmin+StartMinute;
    dhour = StartHour;
end

A = datetime(StartYear,StartMonth,StartDay,StartHour,...
    StartMinute,StartSecond,StartMillisec);
B = datetime(StartYear,StartMonth,StartDay,dhour,dmin,dsec,dms);
t_L = linspace(A,B,length(x));
clear A B

ters = [ters; X];
La = [La x];
time_L =[time_L t_L];

[time_L,I] = sort(time_L);
La = La(I);

clear TimeVector
clear LaVector
clear ICAOVector

TimeVector(:,1)=time_L;
LaVector(:,1)=La;
ICAOVector = cell(length(La),1);
```

```
ICA0Vector(1:length(La))={ICA0Code};

AC(bigcount).LDose = sum(La);
AC(bigcount).ICA0 = ICA0Code;
AC(bigcount).T = length(x)/8;

if max(LaVector)>70
    NumberAbove70dBA=NumberAbove70dBA+1;

else
end

Maxbullervektor(bigcount)= max(LaVector);
ICA0NameVector(bigcount)={ICA0Code};
MeasureDateVector(bigcount)={time_stamp};
Idx = Idx0+[1:length(LaVector)];
Idx0 = Idx(end);
TotalLaVector(Idx) = LaVector;
TotalICA0Vector=cat(1,TotalICA0Vector,ICA0Vector(1));

% Detta visas så att användaren ser hur långt inläsningen kommit
if(rem(bigcount,100)==0)
    disp(['Done with file #' int2str(bigcount) ' ' num2str(toc) '
seconds'])
end

end

TotalLaVector = TotalLaVector(find(TotalLaVector));

cd([Drive StoreDIR]);

%cd D:\NoiseFiles\
NoiseFiles = rmfield(NoiseFiles, 'bytes');
NoiseFiles = rmfield(NoiseFiles, 'isdir');
NoiseFiles = rmfield(NoiseFiles, 'datenum');
NoiseFiles = rmfield(NoiseFiles, 'randomorder');
NoiseFiles = rmfield(NoiseFiles, 'folder');
NoiseFiles = rmfield(NoiseFiles, 'date');

LaMaxVector = num2cell(Maxbullervektor);
[NoiseFiles(:).LaMax] =deal (LaMaxVector{:});

[NoiseFiles(:).ICA0_Name] =deal (ICA0NameVector{:});
[NoiseFiles(:).MeasureDate] =deal (MeasureDateVector{:});

disp(['Antalet flygningar med maxbuller över 70 dB(A) var ', ...
num2str(NumberAbove70dBA), ' stycken av ',num2str(bigcount),'.'])

disp(['Det motsvarar ', ...
num2str((100*NumberAbove70dBA/bigcount)), '% av flygningarna.'])

Timestring=datestr(now, 'yy-mm-dd-HH-MM-SS');
```

```
save([Timestring, '_TotalLaVektor.mat'], "TotalLaVector", "-v7.3");
save([Timestring, '_Maxbullervektor.mat'], "Maxbullervektor", "-v7.3");
save([Timestring, '_ICAONames.mat'], "ICAONameVector", "-v7.3");
writetable(struct2table(NoiseFiles), [Timestring, '_NoiseSummary.xlsx']);

save([Timestring, '_AC.mat'], "AC", "-v7.3");

cd([Drive RunDIR])

end
```

## Program 2a

```
%% Detta program läser in en fil med bullerdata
% från 34 428 passager av flygplan in till bana 26 på Arlanda som har
% samlats in vid Centrum för hållbar luftfart vid KTH
% under perioden april 2019 till maj 2021.
% Programmet är skapat 2023 av Bengt Moberg, Vernamack AB
% och förbättrat 2024 av Mats Gustavsson, A2 Research AB.
% Beräknat på antal flygningar som totalt utförs och hur dessa är
% fördelade över dag, natt och kväll så presenteras ett (1) FBN värde
% och Lday, Levening och Lnight i enlighet med
% det svenska dokumentet "Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar -
% Underlag för en enhetlig tillämpning."
% som är publicerat av
% Försvarsmakten, Naturvårdsverket och Transportstyrelsen 2011-10-31
%
% Programmet beräknar värden i fyra fall. Önskas färre beräkningar göras
% så ska gränsen för loopen på rad 69 ändras och totala antalet
% flygningar och fördelningen över dag, natt och kväll
% ska ändras i variabeln 'indata' på rad 74
%
% Inputfilen ska bestå av LMax värden i dB(A) uppmätta
% med instrumentinställning "SLOW" i enlighet med
% Kap.1 i Volym 1 av det dokumentet
% "Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar -
% Underlag för en enhetlig tillämpning."
% och ha en samplingsfrekvens på 8 Hz.
%
% I programmet finns möjlighet att manuellt variera nivåerna
% för eventuellt förekommande bakgrundsbuller.
% Det görs genom att ändra värdet på parametern "background"
%
% FBN nivåer beräknas enligt formeln
%  $FBN=L_{den}=10*\log(1/24)*[12*(10)^{(L_{day}/10)+4*(10)^{}}$ 
%  $^{(L_{evening}+5)/10)+8*(10)^{(L_{night}+10)/10}]$ 
%
% L_day är den A-vägda ekvivalenta kontinuerliga ljudtrycksnivån enligt
% definition i ISO 1996-2: 1987, fastställd över ett års samtliga
% dagsperioder,
% L_evening är den A-vägda ekvivalenta kontinuerliga ljudtrycksnivån enligt
% definition i ISO 1996-2: 1987, fastställd över ett års samtliga
% kvällsperioder,
```

```
% L_night är den A-vägda ekvivalenta kontinuerliga ljudtrycksnivån enligt  
% definition i ISO 1996-2: 1987, fastställd över ett års samtliga  
nattperioder,  
% Där dagen har 12 timmar, kvällen 4 timmar och natten 8 timmar  
% Tidsintervallen har i Sverige fastställts till  
% kl 06.00-18.00, 18.00-22.00 och 22.00-06.00 lokal tid.
```

```
clear all  
close all
```

```
%% Nedan bestäms i vilka mappar filer ska lagras och var data skahämtas  
% Det måste varje användare själv fylla i.
```

```
Drive = 'C:\';  
RunDIR = 'Users\Bengt\Dropbox\Väsby\Västra Eds alle\';  
FAP_DIR = 'Users\Bengt\Dropbox\Väsby\Västra Eds alle\FAP Buller\';  
StoreDIR = 'NoiseFiles\';  
DataFile = '24-01-08-20-08-16_TotalLaVektor.mat';
```

```
%% Inläsning av datafil
```

```
disp('Läser InData...')  
noisetable=load([Drive StoreDIR DataFile]);  
noise=noisetable.TotalLaVektor;  
background=0;  
day_noise=noise;  
evening_noise=noise+5;  
night_noise=noise+10;  
flight_length = length(noise);  
NoOfMeasuredFlights=34428;
```

```
for counter1= 1:4
```

```
%% Antal flygningar och fördelning över dygnet är fördefinierat  
% och läggs in nedan
```

```
indata = [54347 34994 11475 7878; 32682 19436 6455 6791; 28000 16000 6000  
6000; 14098 7917 2591 3590];
```

```
no_of_flights = indata(counter1,1);  
no_day_flights = indata(counter1,2);  
no_evening_flights = indata(counter1,3);  
no_night_flights = indata(counter1,4);
```

```
%% Skapa en vektor som motsvarar antal flygningar över ett år  
% Den procentuella fördelningen av dag,kväll och natt ska motsvara  
% det som användaren gav som manuell indata.
```

```
total_samples=365*24*3600*8;  
day_samples=365*12*3600*8;  
evening_samples=365*4*3600*8;  
night_samples=365*8*3600*8;
```

```
day_vector=zeros(day_samples,1);  
evening_vector=zeros(evening_samples,1);  
night_vector=zeros(night_samples,1);
```

```
% Fyll alla vektorer med bakgrundsbuller

day_vector(:)=background;
evening_vector(:)=background;
night_vector(:)=background;

%% Fyll dag, kvälls och nattvektorerna med buller
% för att få rätt andel dag, kvälls och nattflygningar

% Dagflygningar

day_ratio=round((no_day_flights/NoOfMeasuredFlights),5);
count_stop=ceil(no_day_flights/NoOfMeasuredFlights);
for count = 1:count_stop
    if ((day_ratio-count)+1)>1
        fill_factor=flight_length;
    else
        fill_factor=round((((day_ratio-count)+1)*flight_length),0);
    end
    day_vector((1+((count-1)*flight_length)):(((count-1)*flight_length)...
        +fill_factor)=day_noise(1:fill_factor);
end

% Kvällsflygningar
% Bullret justeras upp med 5dB

evening_ratio=round((no_evening_flights/NoOfMeasuredFlights),5);
count_stop=ceil(no_evening_flights/NoOfMeasuredFlights);
for count = 1:count_stop
    if ((evening_ratio-count)+1)>1
        fill_factor=flight_length;
    else
        fill_factor=round((((evening_ratio-count)+1)*flight_length),0);
    end
    evening_vector((1+((count-1)*flight_length)):(((count-1)...
        *flight_length))+fill_factor)=evening_noise(1:fill_factor);
end

% Nattflygningar
% Bullret justeras upp med 10dB

night_ratio=round((no_night_flights/NoOfMeasuredFlights),5);
count_stop=ceil(no_night_flights/NoOfMeasuredFlights);
for count = 1:count_stop
    if ((night_ratio-count)+1)>1
        fill_factor=flight_length;
    else
        fill_factor=round((((night_ratio-count)+1)*flight_length),0);
    end
    night_vector((1+((count-1)*flight_length)):(((count-1)...
        *flight_length))+fill_factor)=night_noise(1:fill_factor);
end

%% Räkna ut Lday, Levening och Lnight
```

```
Lday = 10*log10(mean(10.^(0.1*day_vector)));

Levening_plus5 = 10*log10(mean(10.^(0.1*evening_vector)));

Lnight_plus10 = 10*log10(mean(10.^(0.1*night_vector)));

%% Räkna ut FBN
% FBN=L_den=10*log(1/24)*[12*(10)^(L_day/10)+4*...
% (10)^(L_evening+5)/10)+8*(10)^(L_night+10)/10)]

FBN = round(10*log10(12/24*10^(0.1*Lday)+...
    4/24*10^(0.1*Levening_plus5)+8/24*10^(0.1*Lnight_plus10)),2);

%% Presentera resultatet
disp(' ')
disp(['Körning: ' int2str(counter1)])
disp('Beräknat på årsbasis och baserat på:')
disp([num2str(no_day_flights), ' flygningar kl 06-18, ' ...
    num2str(no_evening_flights), ' flygningar kl 18-22, samt ' ...
    num2str(no_night_flights), ' flygningar kl 22-06,'])
disp(['totalt ', num2str(no_of_flights), ' ska vara =
', num2str(no_day_flights...
    +no_evening_flights+no_night_flights), ' flygningar, så är'])
disp(['flygbullernivån (FBN) i den givna punkten är ', ...
    num2str(FBN), ' dB.'])
disp(['Lday i den givna punkten är '...
    num2str(round(Lday,2)), ' dB. Levening '...
    num2str(round(Levening_plus5-5,2)), ' dB.Lnight ',...
    num2str(round(Lnight_plus10-10,2)), ' dB.'])

end
```

## Program 2b

Program 2b är en kopia av program 2a som är modifierad för att korrigera mängden flygplan av olika flygplanstyper

```
%% Detta är en modifierad version av "Program 2a" där mixen av flygplan
% justerats så att andelen flygplan av typen B747, B787 och A350 kommer
% att motsvara det som Swedavia anger i sina beräkningar av framtida
% trafikmängder på Arlanda.
% En användare av detta program bör först granska Program 2a för
% att förstå detta program.
% Den fil med buller från de tre flygplanstyperna som adderas till
% utfallet har skapats genom att extrahera bullerdata från de
% flygplanstyperna ur den totala ursprungliga mängden insamlad bullerdata.
% Därefter har den extraherade datan mångfaldigats för att motsvara den
% korrekta mängden flygningar för de tre flygplanstyperna, och slutligen
% har den korrigerade mängden lagts till till totala mängden bullerdata.

clear all
close all
```



```
%% Nedan bestäms i vilka mappar filer ska lagras och var data skahämtas
% Det måste varje användare själv fylla i.

Drive = 'C:\';
StoreDIR = 'NoiseFiles\';
DataFileA = '24-01-08-20-08-16_TotalLaVektor.mat';
DataFileB = 'A350_B747_B787_Buller.mat';
% DataFileC = '24-04-07-04-46-16_AC_LDose.mat';
% Efter begäran från Länsstyrelsen har Buller från flygplanstyperna A350,
% B747 och B787 korrigerats genom att multiplicera det uppmätta
% antalet bullerhändelser för de flygplanstyperna med faktorerna
% 2, 18 respektive 3. Dvs. samma bullerhändelser används 2, 18 respektive 3
% gånger för de flygplanstyperna.

%% Inläsning av datafil
% Bullerdata ska finnas i en fil som heter "TotalLaVektor.mat"
% Bullerdata för A350, B747 och B787 ska finnas i en fil som heter
% A350_B747_B787_Buller.mat

disp('Läser InData...')
load([Drive StoreDIR DataFileB]);
noisetable=load([Drive StoreDIR DataFileA]);
%load([Drive StoreDIR DataFileC]);
noise=noisetable.TotalLaVektor;
background=0;
day_noise=noise;
evening_noise=noise+5;
night_noise=noise+10;
flight_length = length(noise);
NoOfMeasuredFlights=34428;

for counter1= 1:4

%% Antal flygningar är fördefinierat och läggs in nedan

indata = [54347 34994 11475 7878; 32682 19436 6455 6791; 28000 16000 6000
6000; 14098 7917 2591 3590];

no_of_flights = indata(counter1,1);
no_day_flights = indata(counter1,2);
no_evening_flights = indata(counter1,3);
no_night_flights = indata(counter1,4);

%% Här korrigeras bullervektorn
no_day_flights =no_day_flights-4091;
no_evening_flights =no_evening_flights-715;
no_night_flights=no_night_flights-1357;
% Ovan korrigeras för att det nedan läggs till ett antal flygningar
% Det innebär att det statistisk sett plockas bort
% 44 st A350 flygningar dagtid, 8 st kvällstid och 15 nattetid
% 4 st B747 flygningar dagtid, 1 st kvällstid och 2 nattetid
% 47 st B787 flygningar dagtid, 9 st kvällstid och 16 nattetid
% Detta korrigeras sedan för nedan

%% Skapa en vektor som motsvarar antal flygningar över ett år
```

```
% Den procentuella fördelningen av dag,kväll och natt ska motsvara
% det som användaren gav som manuell indata.

total_samples=365*24*3600*8;
day_samples=365*12*3600*8;
evening_samples=365*4*3600*8;
night_samples=365*8*3600*8;

day_vector=zeros(day_samples,1);
evening_vector=zeros(evening_samples,1);
night_vector=zeros(night_samples,1);

% Fyll alla vektorer med bakgrundsbuller om så önskas

day_vector(:)=background;
evening_vector(:)=background;
night_vector(:)=background;

%% Fyll dag, kvälls och nattvektorerna med buller...
% ....från rätt andel av totalbullervektorn för respektive period.

% Dagflygningar

day_ratio=round((no_day_flights/NoOfMeasuredFlights),5);
count_stop=ceil(no_day_flights/NoOfMeasuredFlights);
for count = 1:count_stop
    if ((day_ratio-count)+1)>1
        fill_factor=flight_length;
    else
        fill_factor=round((((day_ratio-count)+1)*flight_length),0);
    end
    day_vector((1+((count-1)*flight_length)):(((count-1)*flight_length))+...
        fill_factor)=day_noise(1:fill_factor);
end

% Kvällsflygningar
% Bullret justerat upp med 5dB

evening_ratio=round((no_evening_flights/NoOfMeasuredFlights),5);
count_stop=ceil(no_evening_flights/NoOfMeasuredFlights);
for count = 1:count_stop
    if ((evening_ratio-count)+1)>1
        fill_factor=flight_length;
    else
        fill_factor=round((((evening_ratio-count)+1)*flight_length),0);
    end
    evening_vector((1+((count-1)*flight_length)):(((count-1)*flight_length))+...
        fill_factor)=evening_noise(1:fill_factor);
end

% Nattflygningar
% Bullret justerat upp med 10dB

night_ratio=round((no_night_flights/NoOfMeasuredFlights),5);
count_stop=ceil(no_night_flights/NoOfMeasuredFlights);
for count = 1:count_stop
```

```
if ((night_ratio-count)+1)>1
    fill_factor=flight_length;
else
    fill_factor=round((((night_ratio-count)+1)*flight_length),0);
end
night_vector((1+((count-1)*flight_length)):(((count-1)*flight_length))+...
    fill_factor)=night_noise(1:fill_factor);
end

%% Lägg till extra flygningar för A350, B747 och B787
% I ursprungsdata fanns 373 stycken rena A350 flygningar
% 34 stycken rena B747 flygningar och
% 394 stycken rena B787 flygningar.
% Dessutom fanns enligt Swedavias kategorisering
% 1634 st. i gruppen som ska ersättas med A350,
% 34 st. i gruppen som ska ersättas med B747, och
% 747 st. i gruppen som ska ersättas med B787.
% Genom att kombinera Tabell 3 och Tabell 5 i Swedavias bullerberäkning för
% (34994/179046=19,5%, etc) riksintresset kan konstateras att det ska
% läggas till 734 st. B747-flygningar dagtid, 73 st kvällstid och 123 st.
% nattetid. I materialet ingår redan 34 st. flygningar vilka kan antas vara
% fördelade 22 st dagtid och 6 st både kväll och natt.
% Därför ska 712 st läggas till på dagtid, 67 st kvällstid och 117 st
% nattetid.
% På samma sätt gäller att för A350 ska 1949 flygningar läggas till dagtid
% 295 st kvällstid och 663 st. nattetid.
% och för B787 ska 1430 flygningar läggas till dagtid
% 353 st kvällstid och 577 st. nattetid.
% Sammanlagt läggs därför till 712+1949+1430=4091 flygningar dagtid
% 67+295+353=715 kvällstid och 117+663+577=1357 nattetid,
% vilket korrigerar det ursprungliga antalet flygningar med motsvarande
% antal dag, kväll och natt. Vilket manuellt har gjorts på rad 73-75 ovan.

A350BullerEvening=A350Buller+5;
A350BullerNight=A350Buller+10;
B747BullerEvening=B747Buller+5;
B747BullerNight=B747Buller+10;
B787BullerEvening=B787Buller+5;
B787BullerNight=B787Buller+10;

% För A350 ska 373 flygningar bli 1949 dag, 295 kväll och 663 natt
% För B747 ska 34 flygningar bli 712 dag, 67 kväll och 117 natt
% För B787 ska 394 flygningar bli 1430 dag, 353 kväll och 577 natt

ratioA350day=1949/373;
ratioA350evening=295/373;
ratioA350night=663/373;
ratioB747day=712/34;
ratioB747evening=67/34;
ratioB747night=117/34;
ratioB787day=1430/394;
ratioB787evening=353/394;
ratioB787night=377/394;

% För enkelhetens skull
% och för att vara extremt konservativ och samtidigt
```

```
% ta höjd för de flygningar av respektive flygplanstyp som
% plockades bort på rad 73-75 så sätts ratio till
% ratioA350day=6 vilket ger 2238 st istället för 1949 st
% ratioA350evening=1 vilket ger 373 st istället för 295 st
% ratioA350night=2 vilket ger 746 st istället för 663 st
% ratioB747day=22 vilket ger 748 st istället för 712 st
% ratioB747evening=2 vilket ger 68 st istället för 67 st
% ratioB747night=4 vilket ger 152 st istället för 117 st
% ratioB787day=4 vilket ger 1576 st istället för 1430 st
% ratioB787evening=1 vilket ger 394 st istället för 353 st
% ratioB787night=1 vilket ger 394 st istället för 377 st
% Sammanlagt läggs (inkluderat för korrigeringen vid rad 73-75 ovan)
% 668 extra flygningar till materialet. Varav 471 st dagtid
% 120 st kvällstid och 135 st nattetid.
```

```
%% Här byggs korrigeringsvektorer upp manuellt för
% de tre flygplanstyperna
```

```
KorrA350BullerDay=[A350Buller;A350Buller;A350Buller;...
    A350Buller;A350Buller;A350Buller];
KorrA350BullerEvening=A350BullerEvening;
KorrA350BullerNight=[A350BullerNight;A350BullerNight];
FiveB747BullerDay=[B747Buller;B747Buller...
    ;B747Buller;B747Buller;B747Buller];
KorrB747BullerDay=[FiveB747BullerDay;FiveB747BullerDay;FiveB747BullerDay...
    ;FiveB747BullerDay;B747Buller;B747Buller];
KorrB747BullerEvening=[B747BullerEvening;B747BullerEvening];
KorrB747BullerNight=[B747BullerNight;B747BullerNight...
    ;B747BullerNight;B747BullerNight];
KorrB787BullerDay=[B787Buller;B787Buller...
    ;B787Buller;B787Buller];
KorrB787BullerEvening=B787BullerEvening;
KorrB787BullerNight=B787BullerNight;
```

```
%% Här byggs korrigeringsvektorer upp manuellt för
% de tre tiderna på dygnet
```

```
KorrDay=[KorrA350BullerDay;KorrB747BullerDay;KorrB787BullerDay];
KorrNight=[KorrA350BullerNight;KorrB747BullerNight;KorrB787BullerNight];
KorrEvening=[KorrA350BullerEvening;KorrB747BullerEvening;KorrB787BullerEvening];
```

```
%% Här läggs bullret till sist i de tre vektorerna för dag natt och kväll
% Var i den totala bullervektorn de ligger påverkar inte resultatet!
```

```
day_vector((length(day_vector)-length(KorrDay)+1):end)=KorrDay;
evening_vector((length(evening_vector)-
length(KorrEvening)+1):end)=KorrEvening;
night_vector((length(night_vector)-length(KorrNight)+1):end)=KorrNight;
```

```
%% Räkna ut Lday, Levening och Lnight
```

```
Lday = 10*log10(mean(10.^(0.1*day_vector)));
Levening_plus5 = 10*log10(mean(10.^(0.1*evening_vector)));
Lnight_plus10 = 10*log10(mean(10.^(0.1*night_vector)));
```

```
%% Räkna ut FBN
% FBN=L_den=10*log(1/24)*[12*(10)^(L_day/10)+4*...
% (10)^(L_evening+5)/10)+8*(10)^(L_night+10)/10)]

FBN = round(10*log10(12/24*10^(0.1*Lday)+...
    4/24*10^(0.1*Levening_plus5)+8/24*10^(0.1*Lnight_plus10)),2);

%% Här korrigeras siffrorna tillbaka av presentationstekniska skäl
% Se rad 59
no_day_flights =no_day_flights+4091;
no_evening_flights =no_evening_flights+715;
no_night_flights=no_night_flights+1357;

%% Presentera resultatet
disp(' ')
disp(['Körning: ' int2str(counter1)])
disp('Beräknat på årsbasis och baserat på:')
disp([num2str(no_day_flights), ' flygningar kl 06-18, ' ...
    num2str(no_evening_flights), ' flygningar kl 18-22, samt ' ...
    num2str(no_night_flights), ' flygningar kl 22-06,'])
disp(['totalt ', num2str(no_of_flights), ' ska vara =
', num2str(no_day_flights...
    +no_evening_flights+no_night_flights), ' flygningar, så är'])
disp(['flygbullernivån (FBN) i den givna punkten är ', ...
    num2str(FBN), ' dB.'])
disp(['Lday i den givna punkten är '...
    num2str(round(Lday,2)), ' dB. Levening '...
    num2str(round(Levening_plus5-5,2)), ' dB.Lnight ',...
    num2str(round(Lnight_plus10-10,2)), ' dB.'])
end
```

## Bilaga 1 – Komplettering – Granskning av föreslaget skolområde

### Föreslaget skolområde

Som komplettering till den *Utredning rörande förväntade flygbullernivåer (FBN) i Västra Eds allé* som Vernamack genomförde under våren 2024 har Upplands Väsby kommun låtit ta fram ett förslag, Bild 1 nedan, på hur byggnader, skolgård och idrottsplan skulle kunna utformas i det aktuella området. Vernamack AB har granskat det framtagna förslaget. Eftersom tillfälliga maximala bullernivåer från överflygande flygplan med stor sannolikhet huvudsakligen kommer att komma från nordväst, när flygplanen är i den norra delen av den i bilden rödmarkerade inflygningslinjen är det relevant att planera byggnation efter det. Vernamack kan konstatera att det framtagna förslaget har tagit höjd för detta och byggnader har placerats så att möjligheten till att skärma av buller från överflygande flygplan, trots begränsade möjligheter, har tagits i beaktande. Förslaget måste därför sägas vara väl avvägt och gör det bästa av en relativt besvärlig bullerstörningssituation.

Som den tidigare utredningen visat kommer flygbullernivåerna (FBN) med all sannolikhet vara lägre än Naturvårdsverkets riktlinjer för utemiljö på skolgårdar (55 dB(A)). Dock kommer de maximala bullernivåerna överskrida de rekommenderade värdena (70dB(A)  $L_{Amax}$ ) maximalt sex (6) gånger per dagperiod till och med år 2070 och maximalt tio (10) gånger per dagperiod efter år 2070. Men! detta gäller bara de dagar då vinden blåser på ett sådant sätt att landning måste ske söderifrån, vilket historiskt sett sker cirka 40% av årets dagar.

Baserat på de data som använts vid den ursprungliga utredningen kan bullernivåer upp till 80 dB(A) förekomma. För att uppnå en god inomhusmiljö (med avseende på buller) bör därför tak, ytterväggar och fönster anpassas efter det. Exempelvis med bullerreducerande fönsterkonstruktioner och ytterväggar med ett invändigt extra installationsskikt av isolering som inte har någon mekanisk kontakt med ytterväggen.

Vad gäller utomhusmiljön kan ett antal åtgärder vidtas.

Övergripande kan sägas att mjuka markmaterial som absorberar buller är att föredra för att minska reflekterat buller. Gräsytor är alltså generellt sett bättre än asfalt. Det finns också ett flertal moderna gummi- eller plastmaterial för användning på lekplatser. Dessa kan både vara ljuddämpande och skydda mot fallskador.

Olika tak- eller skärmkonstruktioner kan konstrueras för att absorbera och/eller reflektera bort ljud samtidigt som de skyddar delar av skolgården från regn, buller och sol.

Möjliga material och konstruktioner kan vara olika typer av ljudabsorberande takpaneler såsom perforerade metallpaneler, som kan kombineras med akustisk isolering anpassad för utomhusbruk på insidan, dvs. den tysta sidan, eller olika typer av akustikplattor tillverkade av glasfiber, skumplast eller träfiber, behandlade för utomhusbruk.





**Bild 1. Gestaltungsforlag framtaget på begäran av Upplands Väsby kommun**

Tak kan även byggas av reflekterande material som hård betong eller metall. Dessa kan vara lutande och reflekterar då bort ljudet från skolgården om riktningen är optimerad.

Även gröna tak med växter (sedummattor, mossor eller låga gräsarter) har en viss ljudabsorberande effekt och ger ett naturligt utseende. Det går att välja tak som klarar väderförhållanden och är uppbyggda i lager; en tät membranbotten, jordsubstrat och tåliga växter.

Dessa tre metoder kan kombineras i olika varianter och anpassas för svenskt utomhusklimat för både maximal dämpning och estetisk effekt.

För områden som kräver ljusinsläpp kan laminerat glas med ljudabsorberande filmer användas.

De ovanstående metoderna kan exempelvis formges som halvtäckande pergolor som skapar skuggiga områden där ljudabsorberande paneler är infällda i takets struktur. Det kan kombineras med klätterväxter för extra bullerdämpning. Det går även att skapa kupol- eller bågformade konstruktioner som minskar eller reflekterar ljud på ett lämpligt sätt. I en förskolemiljö kan detta också användas för att skapa grottor för lek eller mer öppna men ändå väderskyddade utrymmen.

Som komplement kan gröna bullerskydd som kombinerar vegetation och ljudabsorberande strukturer för att minska ljudnivån användas. Häckar och träd såsom som tuja eller gran fungerar året om. Även växter som växer snabbt och tätt, t.ex. pil eller poppel, kan användas som inslag. Ljudabsorberande ställningar av stål- eller träspaljéer som stödjer klätterväxter som murgröna eller vildvin kan också användas för att minska spridningen av reflekterat buller.

### Sammanfattning

Efter granskning kan konstateras att den föreslagna lösningen har tagit i beaktande det som går att göra för att anpassa byggnaders placering till den rådande situationen med överflygande flygplan där de mest störande bullret kommer komma från nordväst. Det kan också konstateras att de förväntade FBN-nivåerna är lägre än Naturvårdsverkets riktvärden för skolgårdar och undervisningslokaler, men att enstaka överskridande av maxbullernivåer kommer att förekomma. För att hantera detta finns ett antal åtgärder som kan vidtas både vad gäller utomhus- och inomhusmiljö.