

Bullerstörning från drönare SKR WS 6 nov 2024

Bullersimuleringar varför – hur dra nytta av resultat?

Ulf Tengzelius Aurskall Akustik

Bullersimuleringar

varför – hur använda resultat?

1. Utveckling av ett beräkningsprogram – SAFTu

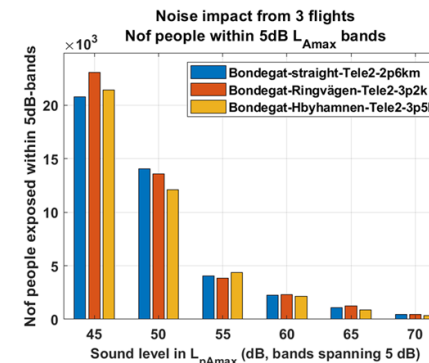
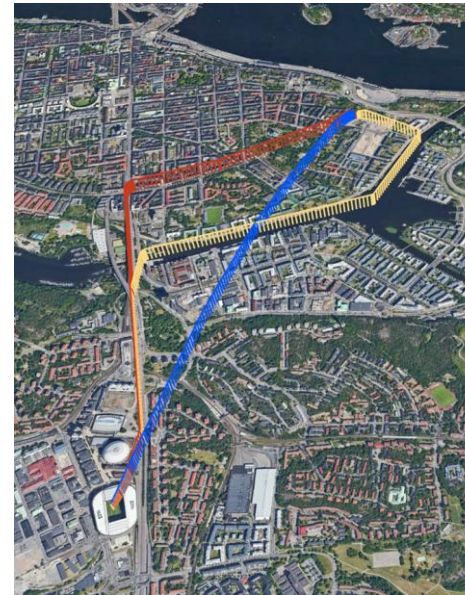
- *Behov av beräkningsprogram*
 - *nytt trafikslag/miljöfråga*
 - *förstå framtida situation*

2. SAFTu karakteristik och möjligheter

- *Överblick*
- *Exempel*

3. Framtida behov och möjligheter

- *Några noteringar*
- *Nyckelfrågor för framtida AAM buller*
- *Framtida utveckling av SAFTu*



1. Utveckling av ett beräkningsprogram för bulleravtryck från UAV – SAFTu

Behov – nytt trafikslag/miljöfråga:

- *Drönanvändning i Sverige idag*, hobby, kommersiellt och av myndigheter inkl. blåljus- och försvaret. Exempel:
 - Inspektion av infrastruktur, kartering, film och media, jordbruk, Leveranser/logistik(försöksverksamhet)
- Drönantrafik, UAM/AAM (Urban-/Advanced Air Mobility), bedöms öka i EU och globalt och även inkludera persontransporter (ref. bl.a. EASA)
- Långsammare utveckling mot AAM än i tidigare prognoser, men ...
- ... om och när en storskalig AAM marknad är igång på andra håll i världen, så kommer det sannolikt komma även till Sverige

... 1. Utveckling av ett beräkningsprogram för kartläggning av bulleravtryck vid flygning med drönare – SAFTu

... forts. Behov – nytt trafikslag/miljöfråga:

- *Industriella och kommersiella intressen* bakom UAV:er och trafikledningssystem vill skynda på införandet av AAM – *vill snabbt få till standarder för säkerhet och buller*
- Viktigt att *boende-/medborgarperspektiv förs in i processen* mot regelverk och riktvärden för buller
- Jämför:
 - Historisk situation med buller kring flygplatser: Konflikter mellan boende och flygverksamhet, *negativa hälsoeffekter¹ och kostsamma anpassningar i efterhand*
(se ICAO Balanced approach² = reaktiv respons på redan uppkomna problem)
 - Idag finns helt andra kunskaper och förutsättningar för att *proaktivt reducera motsättningar och risker för bullerexponering* och främja acceptans/livskvalitet
 - Över tid har flygindustrin ställt sig allt mer motvillig till att lämna ifrån sig data över ljudegenskaper, konkurrens- och kostnadsskäl, risktänkande(?)
 - Om möjligheten finns att åstadkomma en större transparens v.g. bullerdata för framtidens UAV:er är mycket vunnet

¹[WHO: Burden of disease from environmental noise](#)

²[ICAO: Balanced Approach to Aircraft Noise Management](#)

... 1. Utveckling av ett beräkningsprogram för kartläggning av bulleravtryck vid flygning med drönare – SAFTu

... forts. Behov – förstå framtida situation:

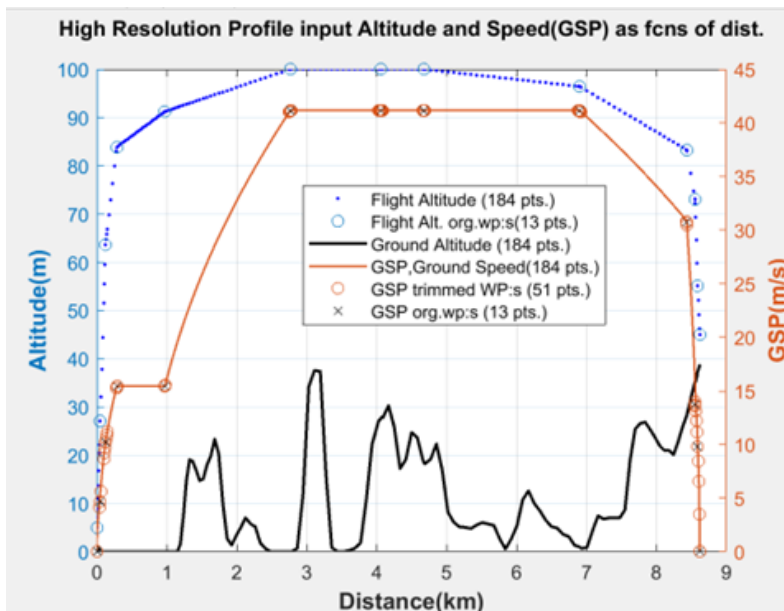
- För att kunna förutsäga tänkbara effekter i ljudlandskapet från framtida AAM-system behövs:
 - Tillförlitliga simuleringar och värdering av resultat som stöd i*
 - processen för fastställande av villkor och riktvärden
 - utvecklingen av drönare
 - planering av start och landningsplatser, flygvägar och flygprofiler
- Eftersom UAV-trafik på många sätt skiljer sig från andra trafikslag och andra bullergenererande verksamheter *saknas ännu både beräkningsstandarder och riktlinjer för buller.*
- Traditionella program/metoder för flygbuller fungerar inte för AAM, d.v.s. generella flygfarkoster och flygbanor inkl. start och landning utanför flygplatser - gäller metoder som ECAC Doc.29 och verktyg som INM/AEDT

... 1. Utveckling av ett beräkningsprogram för kartläggning av bulleravtryck vid flygning med drönare – SAFTu

... forts. Behov – förstå framtida situation:

- NASA utvecklar beräkningsprogram (AIRNOISEUAM, OVERFLOW(CFD/CAA), ...?) men möjligheten att kunna nyttja dessa i Sverige känns mycket avlägsen
- Kommersiella program för omgivningsbuller, som t.ex. Soundplan och metoder som NORD2000, är så vitt vi vet ännu inte lämpade för generella rörliga ljudkällor

Intro, exempel input SAFTu:



← Flygprofil

(blå = höjd som fkn av distans)

(röd = hastighet - " -)

(markhöjd längs flygbana)

Grid (marknät mottagarpunkter) →

(blå = gridpunkt närmast groundtrack)

(grönt = 1:a och sista sub-grid)

(röd = "main-grid")

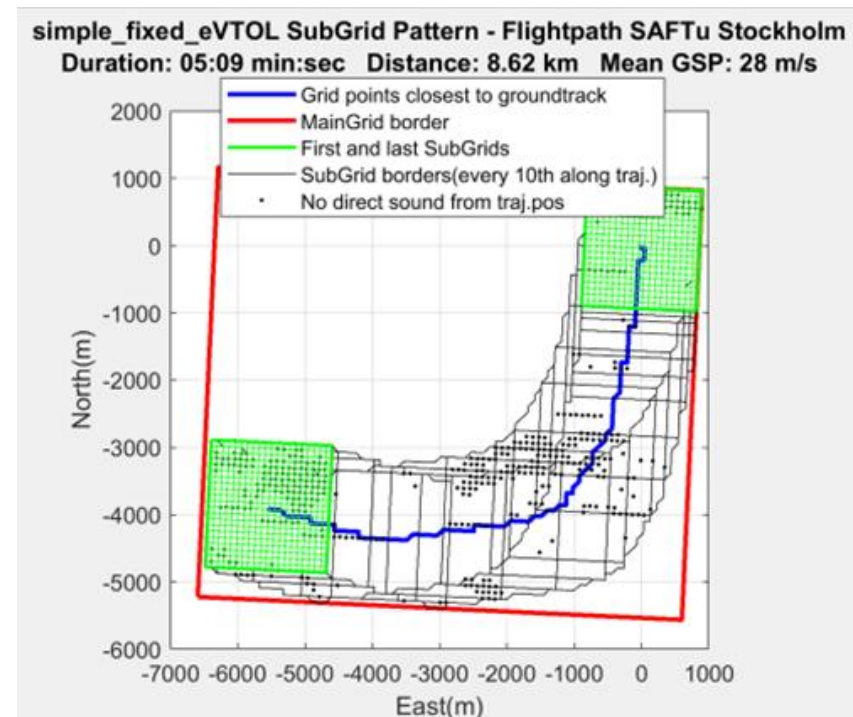
(svart =sub-grid, var tionde grid visas här)

Förklaring: ett sub-grid kopplas till

varje punkt i flygbanan

svarta gridpunkter = markpositioner som inte nås

av direkt "ljudstråle" pga skärmning



2. SAFTu karakteristik och möjligheter

Överblick:

- SAFTu - har utvecklats i APIS projektet som en vidareutveckling av SAFT³ – ett beräkningsprogram för ”fixed wing/standard flygplan”
- **SAFTu, där ”u” = UAV eller UAM, möjliggör ...**

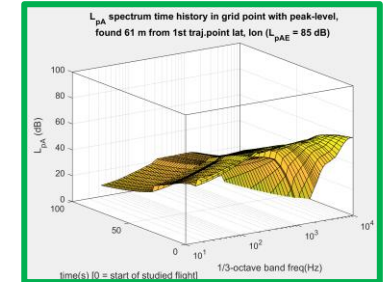
Input av:

- Farkosttyp (val ur en uppsättning implementerade)
- Godtycklig flygbana, först markspår (groundtrack, lat lon) och sen profil (höjd)
- Hastighet och flygmod längs flygbanan

Etablering av ljudkälla längs en diskretiserad flygbana (tidssteg typiskt 1s)

Beräkning av:

- Ljudemission och utbredning med strålgångsberäkning till marken (marknät, ”grid”)
- Ljudhistorik inkl. spektrum i samtliga grid-punkter (diskret ”time record”, tidssteg typiskt 1s)
- Konturlinjer (ljudnivåkurvor) av önskat ljudnivåmått (L_{Amax} or L_{AE} in dBA or other metric)
- Skillnader i dB, $L_2 - L_1 = \Delta dB_{21}$ mellan olika fall, t.ex. två olika UAV:er, två olika flygprofiler, ...
- Antalet boende inom olika ljudnivåintervall



³ SAFT : Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omgivning
se länk: [Aircraft noise mapping code SAFT](#)

... 2. SAFTu karakteristik och möjligheter

... forts. Överblick:

- **Topografi och populationsdata integrerat i körningar**

Nu används i SAFTu data som ska möjliggöra simulering av flygning var som helst på jorden (testat Sverige, Norge och Schweiz):

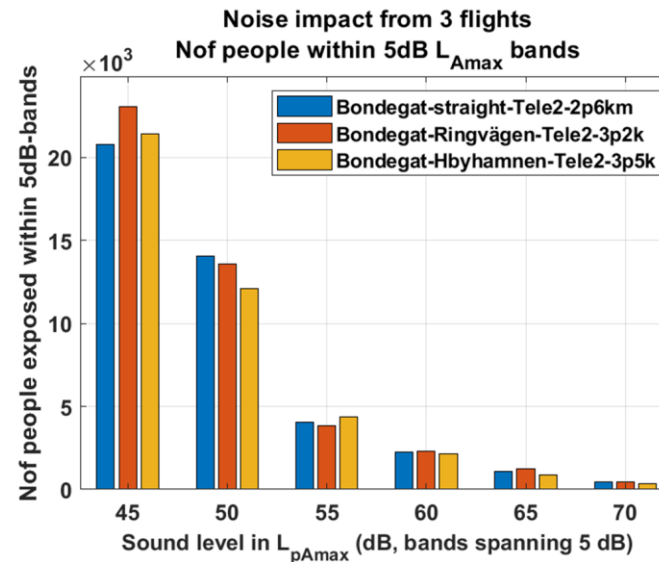
- Topografi/markhöjd: Copernicus Global DEM 30m x 30m, via QGIS + plugin⁴
- Populations fördelning: Humanitarian Data Exchange (HDE)⁵

Exempel, beräkning population (Stockholm):

- **Användarvänligt**

- **Beräkningseffektivt**

*Exempel, konturlinjer
Femundsmarka, Norge:*



⁴ [Download DEMs in QGIS for a Specified Extent with the OpenTopography DEM Downloader Plugin](#), Video: Hans van der Kwast, data: OpenTopography

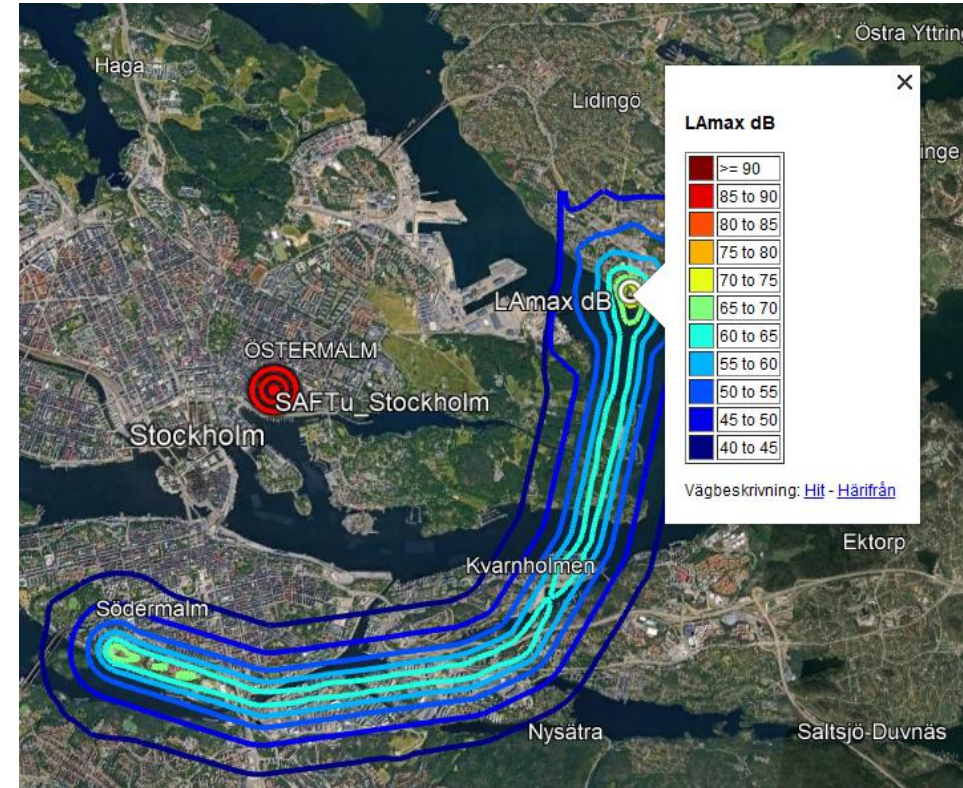
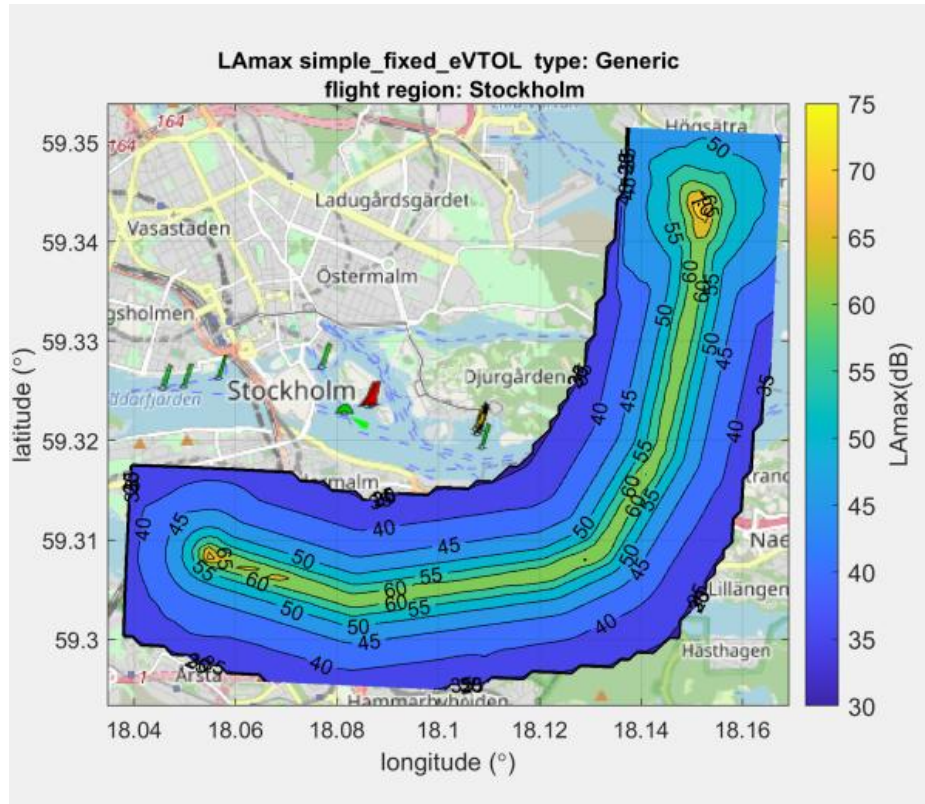
⁵ [Sweden: High Resolution Population Density Maps](#) (swe_general_2020_geotiff.zip), OCHA

... 2. SAFTu karakteristik och möjligheter

Exempel utdata:

Förenklad modell av eVTOL-taxi flyger Lidingö – Södersjukhuset, höjd 100 m

Bullerkonturer L_{Amax}



```

WELCOME, YOU ARE RUNNING SAFTu_v11
(at: [Local_SAFTu_main_dir] \1_Input_AndRunGeneration\m_files_1\SAFTu_v11)

--- A new default output directory has been created ---
[Local_SAFTu_main_dir] /5_Output_AndFixedInput/Output_SAFTu/20230514_2014_Uif_SAFTu_v11

---- Now you are in function: Inputs_for_SAFTu_Run_v10.m ----
(at: [Local_SAFTu_main_dir] \1_Input_AndRunGeneration\m_files_1\Inputs_for_SAFTu_Run_v10)

-----
----- General SAFTu action -----
-----

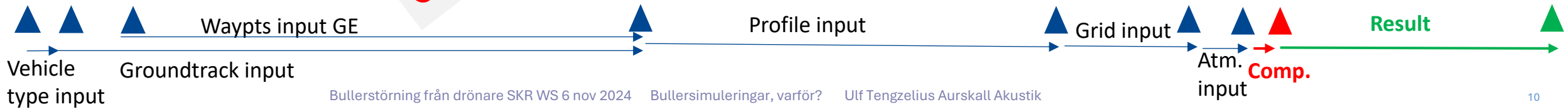
1. Please choose your wanted kind of SAFTu main action:

0. Prepare data to be used in later noise-mapping (e.g. Vehicle Sound Source, Atm. data, ...)
   or
1. Define and run a noise mapping case with input given interactively (Default)
   or
2. Read in and run a previously prepared noise mapping case in input file
   or
3. Difference between grid field results from two previous noise-mapping cases ("dB contours")

Please give a number, 0, 1, 2 or 3:
1

```

OBS - ppt version utan film, filmstorlek ca 340MB



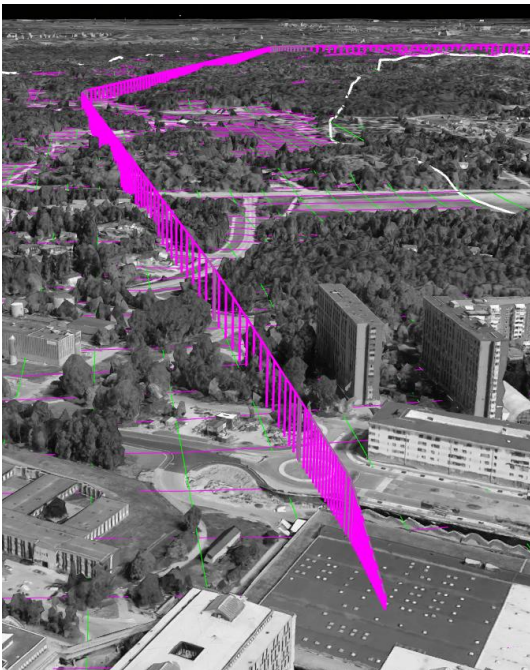
... 2. SAFTu karakteristik och möjligheter

Exempel: Drönartransport, Huddinge Sjh - SöS

Över 5 000 snabbtransporter görs årligen mellan akutsjukhusen Danderyd, Huddinge, Karolinska, Södersjukhuset och S:t Görans sjukhus, samt lager i Spånga. 99% av transporterna är gods under 2 kg, vilket ofta passar utmärkt för drönartransporter

Bullerkonturer $L_{A,max}$

Trajectory at starting point

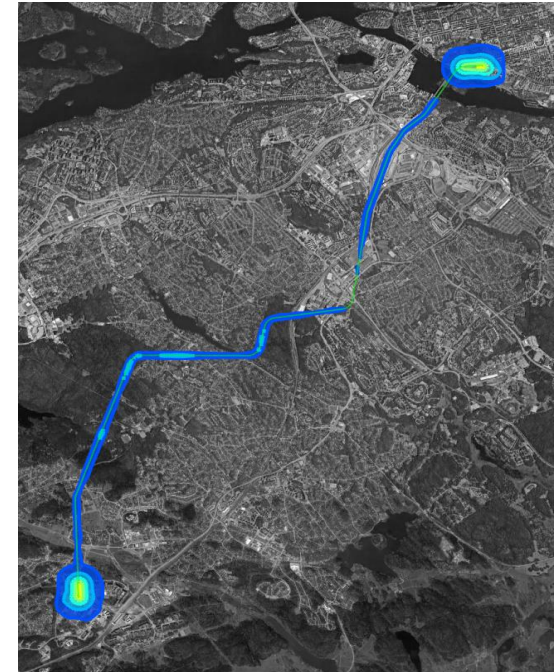
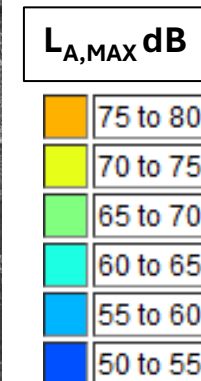
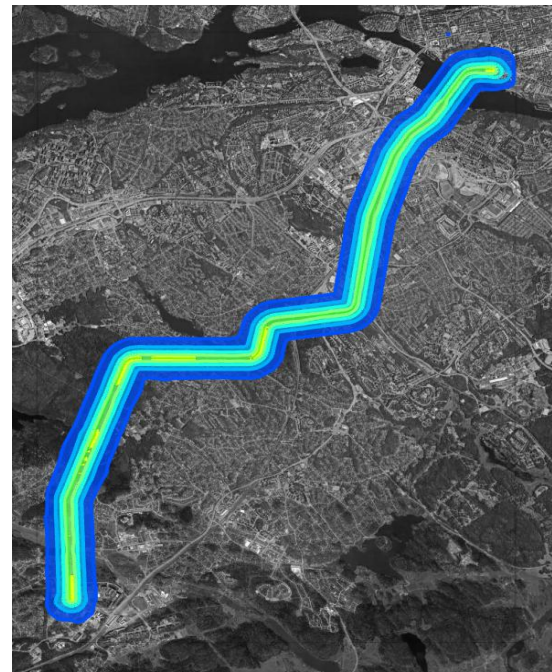


Quadcopter mode the entire way



Flight height above ground 40-60 m

Transition to wing mode.



Two different operational modes: Major sound reduction using wing mode

3. Framtida behov och möjligheter

- UAV trafik kommer att öka
- Lägre flyghöjd än dagens flyg – dagens flyg bullerreglerat endast vid start/landning
- Vi kan ännu bara gissa trafikens omfattning och representation av olika farkosttyper
- Riktvärden för ”störande” buller från UAV saknas ännu
 - Även om ljudnivåerna från en flygande drönare i sig inte är höga, i relation till andra bullerkällor, kan **subjektiva reaktioner kopplade till bullerhändelsen**, som överraskningsmoment, okänd ljudkaraktär, position ovanför, ..., starkt påverka upplevelsen/störningen/stressen/...
 - Ett brett spann av farkoster i fråga om storlek och ljudkaraktär



[EASA Open Category - Low Risk - Civil Drones <25 kg](#)
Class: C0 < 250g, C1 < 900g, C2 < 4kg, C3, C4 < 25 kg



[Katla 40kg nyttolast 15 kg](#) (länk till Katla Aero och bild)



[Joby eVTOL – level flight](#) (länk till Joby och bild)

... 3. Framtida behov och möjligheter

Några noteringar:

- **Multikopter genererar betydligt högre ljudeffekt (ljudnivå) än ”fixed wing”** farkost vid ”level flight”, förutsatt samma massa och nyttolast
- **Större farkost, massa, medför större avstrålad ljudeffekt** eftersom denna kopplar till nödvändig effekt för lyft (”copter-mode”) och framdrivning (”level flight”)
- VTOLs: **Eldrift ingen given fördel i fråga om buller** då farkostens vikt ofta blir större p.g.a. batterier jämfört med förbränningsmotor (med fungerande ljuddämpare!)
- **Motorbullret i sig (el/förbränning) helt oftast helt obetydligt jämfört med rotorbuller**
- **Pågående utveckling av (e)VTOLS visar på minskad generering av ljudeffekt**, mha propeller design, antal och placering mm, kan, **men ...**
- **... vid start och landning (copter-mode) är (e)VTOLs ljudnivåmässigt närmast att likna vid en mindre helikopter**, storleksordningen **~10 dB lägre nivå än motsvarande helikopter**, dvs tystare men långt ifrån ”tyst”

... 3. Framtida behov och möjligheter

Några noteringar:

Exempel på buller från Joby vid landning⁶

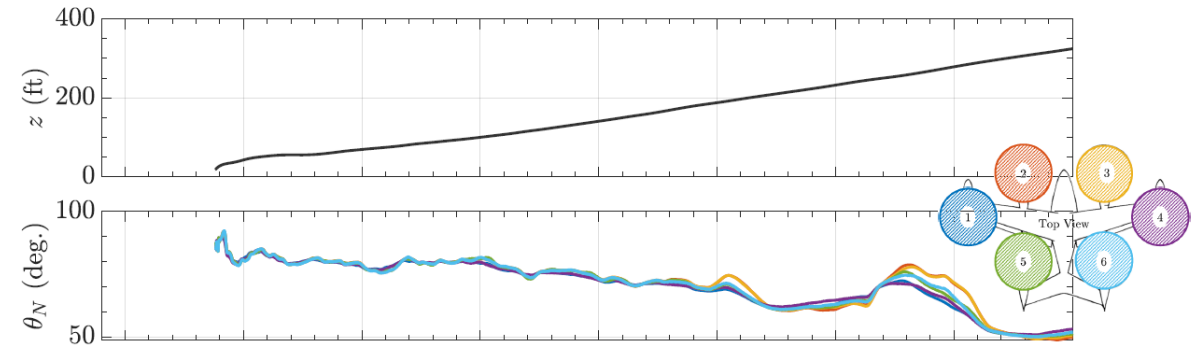
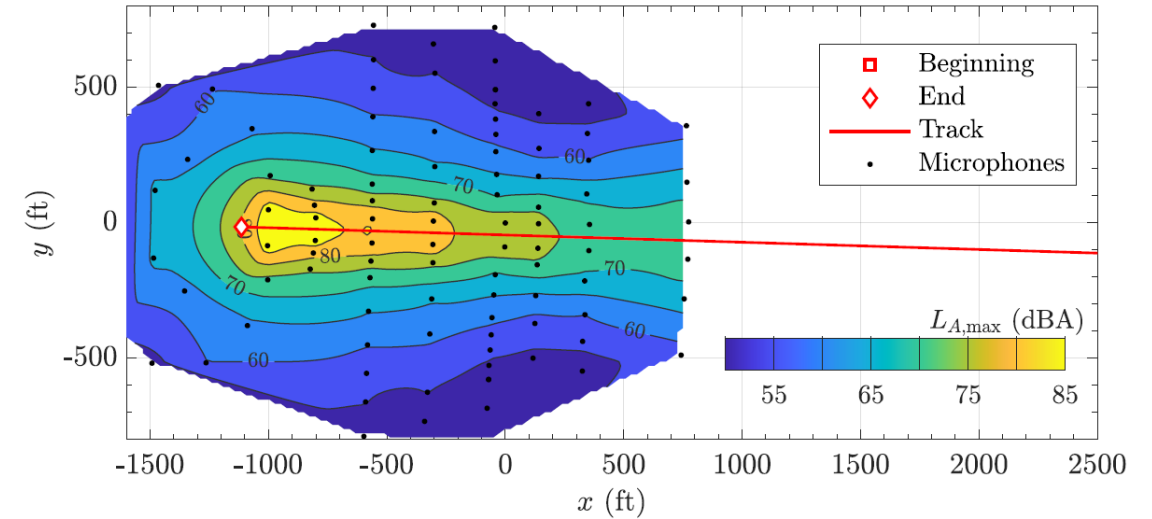
> 70 dBA_{max} på en (synlig) sträcka av 2000 ft ≈ 600 m

(sannolikt uppemot 1km som ej syns i bilden, samt med en bredd på 100-150m)*

Slutsatser:

- Jobyn, sannolikt en relativt sett "tyst" eVTOL i sin klass, överskrider vid inflygning/landning svenska riktvärden för flygbuller:

*"Buller från flygplatser bör inte överskrida ... 70 dBA maximal ljudnivå vid en bostadsbyggnads fasad"*⁷
- Området med nivåer > 70 dBA_{max} sträcker sig i storleksordningen 1 km (x 100 m) vilket inte är försumbart i bebyggda områden
- Svårt att uppfylla redan fastställda svenska riktlinjer för dagens flyg med eVTOL av den här typen i urbana miljöer



*) pga av mätmetodik, mikrofon i platta på marken, har man här antagit total reflektion och dragit av 6 dB från ursprungliga mätdata för att erhålla frifältsförhållanden. För jämförelse med standardiserade flygbullermätningar, mikrofonhöjd 2m – utan kompensation för markreflektion – bör 3-6 dB läggas till Jobys mätdata varför bildens 75 dB kurva bättre representerar det aktuella fallet vid jämförelse med andra flygbullermätningar/standarder.

⁶ [Acoustic Flight Test of the Joby Aviation Advanced Air Mobility Prototype Vehicle](#)
⁷ [SFS Buller från flygplatser 6 §](#)

... 3. Framtida behov och möjligheter

Nyckelfrågor för framtida AAM bullerinverkan:

- Hur få data över bullerkällor/UAV:er?
- Vilka flygsträckor, start- och landningsplatser samt farkoster är aktuella?
- Vilken trafik och vilka UAV-farkoster kan förekomma på dessa sträckor?
- Vad blir bulleravtrycken vid start och landning?
- Vilket bulleravtryck längs färdväg?
- **Hur ska beräknade data över ljud från enstaka flyghändelser och samlad trafik kvantifieras och utvärderas** för bedömning av risk för bullerstörning och möjlig acceptans från boende och verksamma i berörda områden?
- ”Tysta” områden för rekreation och naturupplevelse?

... 3. Framtida behov och möjligheter

Framtida utveckling av SAFTu:

Integrering av byggnader/stadsmiljöer

Exempel visualisering av ”nya” mått/storheter

- Vid SAFTu beräkningar sparas ljudets tidshistorik i varje grid-/mottagarpunkt på marken
- ... med detta följer att vi kan (till skillnad mot INM, ECACd29) bearbeta utdata så att valfritt ljudnivåmått kan beräknas.
- Det betyder även att vissa nya mått eller samband som etablerats i forskningsstudier kan relateras till tidshistoriken av ljudtrycket i form av konturlinjer uttryckta i dessa nya storheter.
- Ett exempel är ”graden av sömnstördhet” och hur den korrelerar med antalet flyghändelser över en viss ljudnivå nattetid. Se fig. över konturlinjer representerande %HSD, ”Highly Sleep Disturbed”



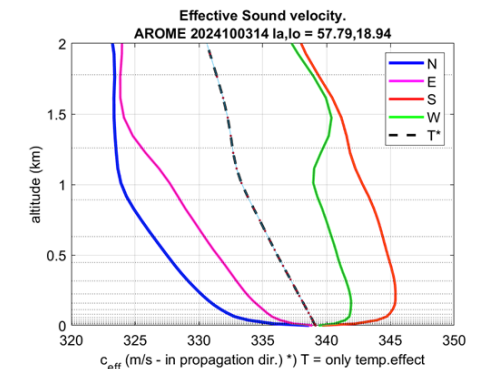
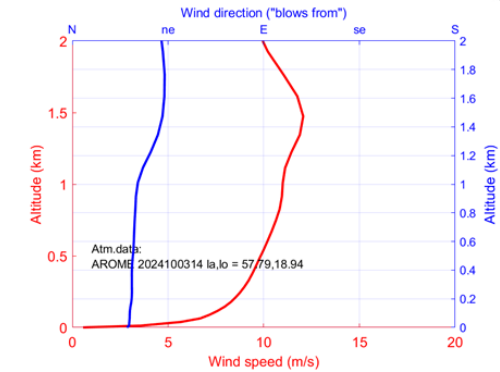
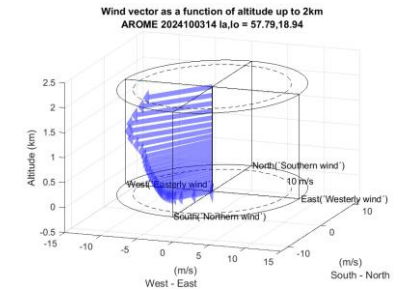
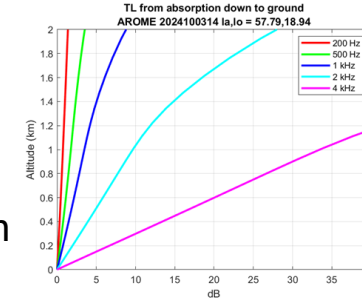
Figur. Extrahering och plotning av konturlinjer representerande andelen ”Highly Sleep Disturbed” (%HSD) inom olika konturlinjer i ett fiktivt studerat fall med 3 nattliga landningar med Airbus 321-230

... 3. Framtida behov och möjligheter

... Framtida utveckling av SAFTu:

Utnyttja rådande atmosfärförhållanden/väder för "tyst flygning"

- Atmosfärförhållanden, luftfuktighet och temperatur, påverkar absorptionen av ljud vid utbredning över längre avstånd. Hög absorption vid högre frekvenser och vice versa.
- Skillnaden på ljudabsorption från tid till annan för samma positioner källa/mottagare (UAV/människa) är marginell
- Vad gäller skillnader i ljudutbredning från tid till annan har vindar (vindgradient) och temperaturgradient med höjden större effekt.
- Vid inversion ("omvänd temp.gradient", dvs kallt vid marken, stigande temp med höjden) "böjs" ljudet av nedåt och fortplantar sig i många fall betydligt längre än vid en normalt skiktad atmosfär (sfärisk utbredning)
- Vid motvinds-ljudutbredning, med en markant och stabil vindgradient, ökad vindstyrka med höjden, böjs ljudet av uppåt och lämnar en s.k. ljudskugga en bit bort från farkosten, i riktning mot vinden. I ljudskuggan kan ljudnivån vara typiskt säg 30 dB eller ännu lägre än på motsvarande plats vid andra atmosfärs-/vindförhållande (den omvända effekten i motvind med en viss förstärkning av ljudnivåer är mer marginell)
- Den här effekten av ljudskugga, om den föreligger tvärs flygriktningen, kan utnyttjas för att undvika störning (eller "akustisk upptäckt") under vissa förhållanden om man har kännedom om atmosfärförhållanden



Slut – tack!

Mer Frågor?