

Bullersimuleringar inom Green Flyway 2.0

Ulf Orrenius, Akustikdoktor Sweden

Agenda

1. Allmänt om drönarbuller - ny transportmod, acceptans kopplat till buller
2. Drönare som bullerkällor
3. Bullerkartering med exempel från Östersund
4. Regelverk och riktlinjer
5. Frågor och svar

APIS – Acoustics and annoyance of future aviation – simulation Platform and Implementation System

- KTH-CSA project starting 2023
- Time frame: 2023-2024 (24 months)
- Financing : Trafikverket/CSA 3.2 M\$ek, Partners (in kind)



Honungsbin [redigera | redigera wikitext]

Honungsbin (*Apis*) är ett släkte i insektsordningen steklar som tillhör familjen långtungebin.



APIS – Acoustics and annoyance of future aviation – simulation Platform and Implementation System



Overall aim (from CSA application):

To provide knowledge, guidance and recommendations to central stakeholders to facilitate implementation of future air vehicle services in a sustainable manner with respect to noise and annoyance.



APIS – Partners



- KTH/INDEK: Main applicant, WP 4 lead (Socio-technical analysis)
- KTH/MWL: Aviation acoustics competence, measurements and analysis
- Akustikdoktorn Sweden AB: Project Management, WP3/WP5 lead (UAV source modelling and mitigation)
- Aurskall Akustik AB: WP2 lead (Aviation/UAV noise modelling)
- Independent Business Group (IBG): WP1 lead (Drone and airport operation, aviation infrastructure, industrial network)

Reference group:

Ivan De Lepiny, EASA; Marie Hankanen, Transportstyrelsen; Jean-Marie Skoglund, Trafikverket; Lisa Johansson, Naturvårdsverket; Olivier Petit, LfV; Charlotta Eriksson, KI; Ulrika Nordenfjäll, SKR; Bengt Moberg Vemamack;



**Akustikdoktorn
Sweden AB**

**Aurskall
Akustik AB**



Agenda

1. **Allmänt om drönbuller - ny transportmod, acceptans kopplat till buller**
2. Drönare som bullerkällor
3. Bullerkartering med exempel från Östersund
4. Regelverk och riktlinjer
5. Frågor och svar

Drönarbuller



- Buller- oönskat ljud
- Kan ha negativ påverkan på innovation
- Störning upplevs individuellt
- Upplevd störning beror också av inställning och attityd, tillit och känsla av kontroll över sin livssituation

Om tilliten brister – är det nästan omöjligt att återfå förtroende!



Agenda

1. Allmänt om drönarbuller - ny transportmod, acceptans kopplat till buller
- 2. Drönare som bullerkällor**
3. Bullerkartering med exempel från Östersund
4. Regelverk och riktlinjer
5. Frågor och svar

Många olika drönarkoncept

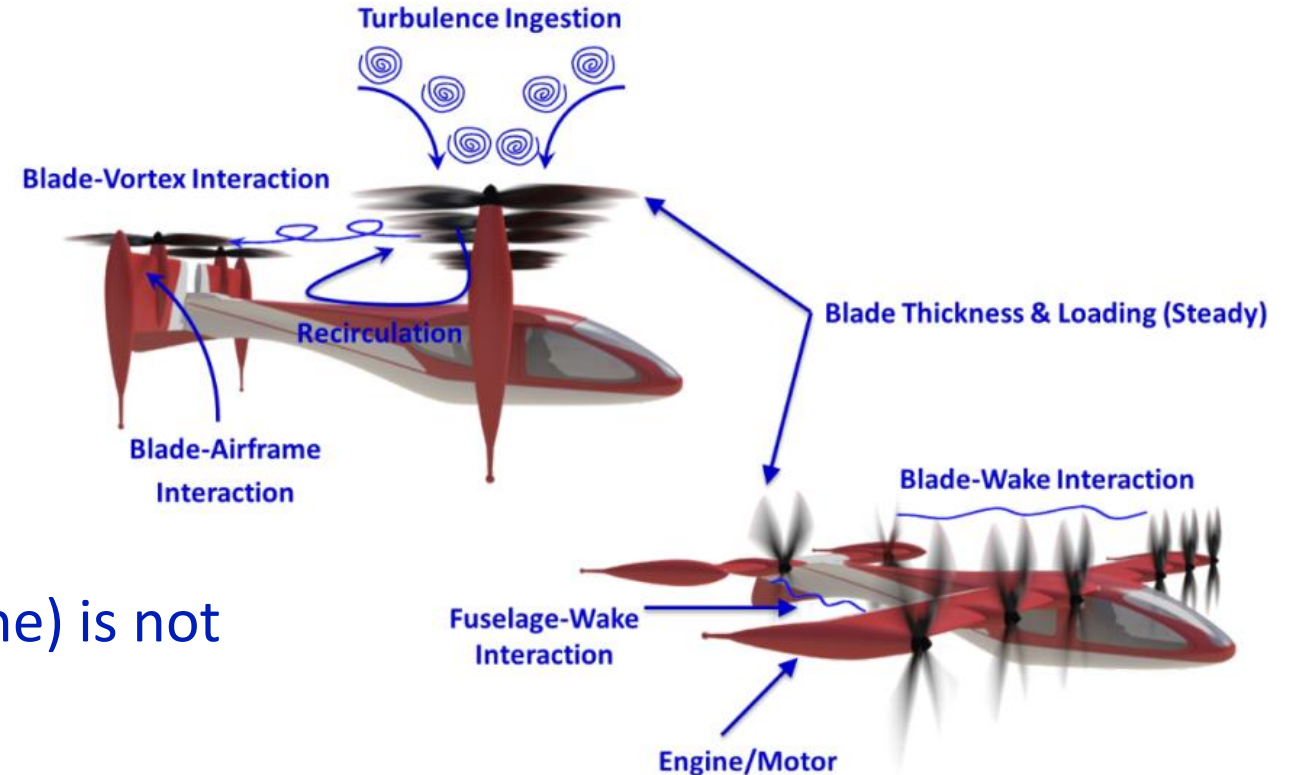



Legend	OEM	Vehicle
1	Airbus	CityAirbus
2	Airflow	Model 200
3	Archer	Maker
4	Bell	4EX
5	Beta Technologies	Alia S250c
6	Dufour Aerospace	aEro 3
7	Ehang	EH-216
8	Ehang	VT-30
9	Electra	eSTOL
10	Elroy Air	Chaparral
11	Eve Urban Air Mobility Solutions	Eve
12	Hyundai Urban Air Mobility	S-A1
13	Jaunt Air Mobility	Journey
14	Joby Aviation	S4
15	Lilium	Jet
16	Overair	Butterfly
17	Pipistrel	Nuova V300
18	Sabrewing Aircraft Company	Rhaegal RG-1
19	Vertical Aerospace	VA-X4
20	Volocopter	VoloCity
21	Volocopter	VoloConnect
22	Wisk	Cora

Source models need to be adapted to the propulsion concept!

- Self generated rotor/propeller noise
- Interaction between airflow and fuselage
- Interaction between blades and turbulence

NB: Typically the drive system (motors/engine) is not contributing significantly.



<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205007433/downloads/NASA-TP-2020-5007433.pdf>

Akustikdoktorn
Sweden AB

Transportdrönare



Single-mode cargo drones (muticopters):

- Fixed lifting rotors (loud)

Dual mode cargo drones:

- Lifting rotors (loud)
- Pulling/pushing propellers (relatively silent)



<https://www.hongfeidrone.com/agricultural-drone/page/6/>

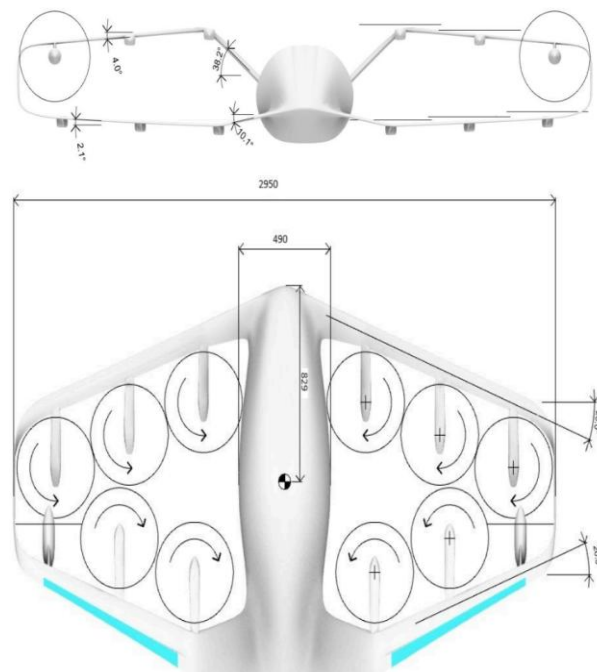


Foto Gustav Wiberg

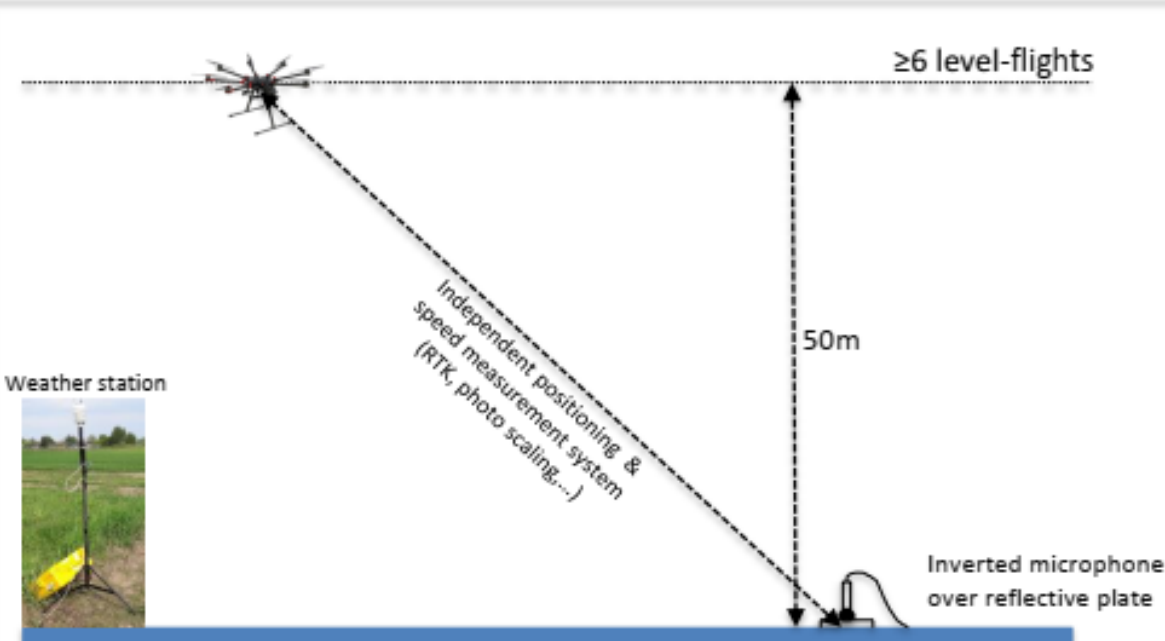
Parameters affecting noise exposure



- *UAV design parameters: lay-out, rotor rpm and pitch*
- *Operational modes: lift, hover, free flight*
- *Flight data/ Trajectory:*
 - Groundtrack – via way points in Google Earth
 - Profile – altitude, speed
- *Population density: SCB data*
- *Screening, e.g. from buildings (shadow zones)*
- *Facade insulation (interior noise)*

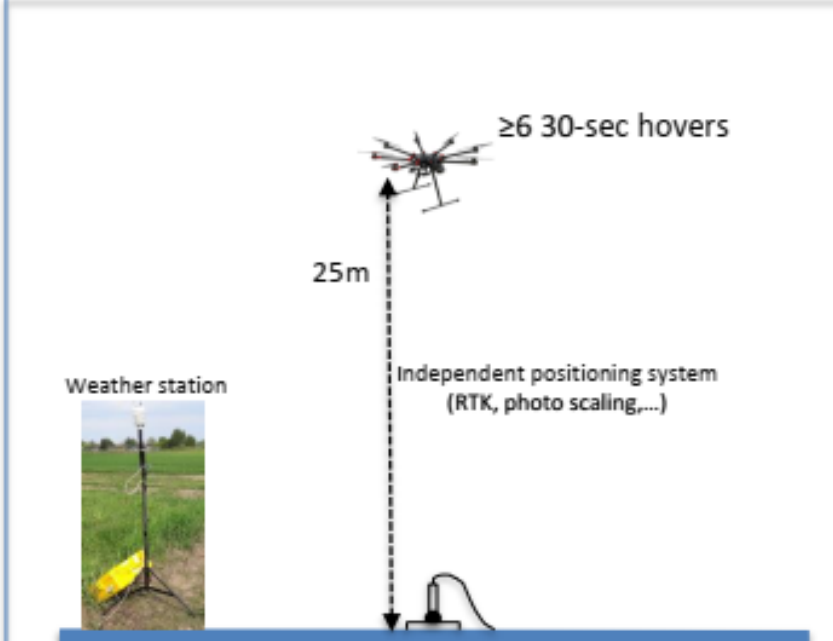


Noise measurement procedures



Mandatory Level-Flight procedure with post-test noise adjustments for:

- Distance.
- Atmospheric absorption.
- Duration correction.
- Speed.

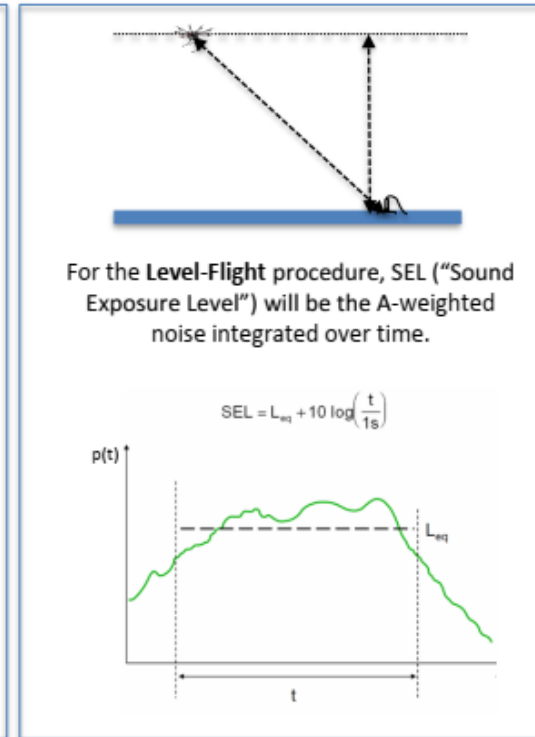
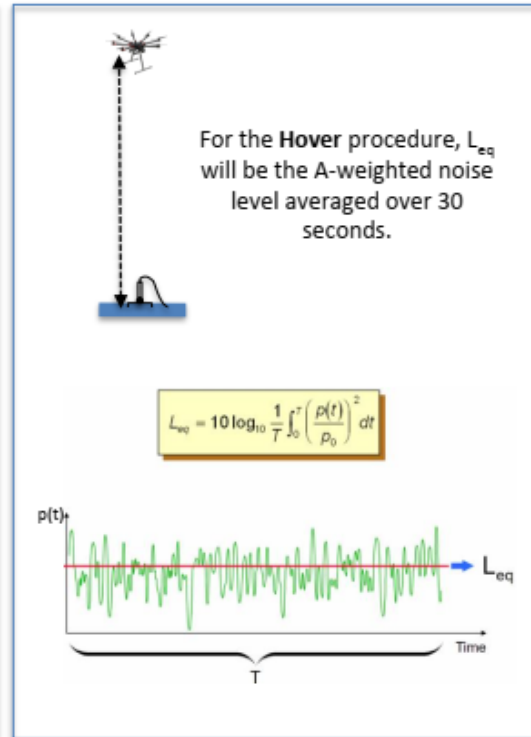
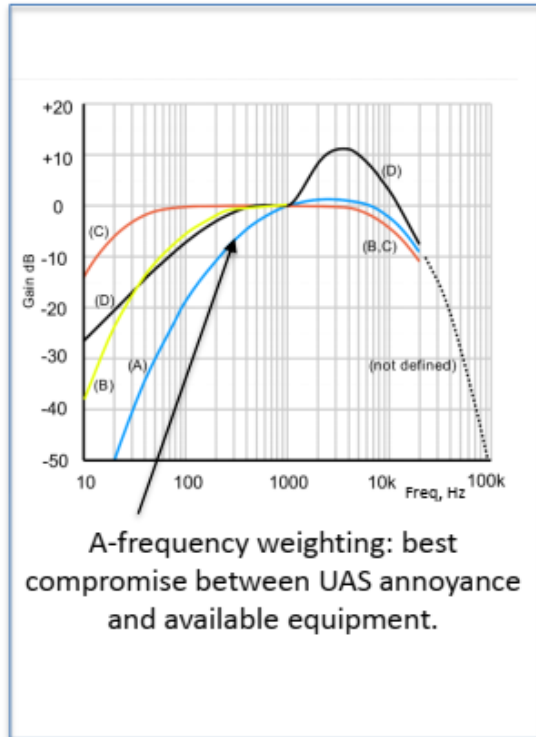


For UAS capable of stationary flight, Hover procedure with post-test noise adjustments for:

- Distance.
- Atmospheric absorption.

EASA: Guidelines for measuring noise from UAVs

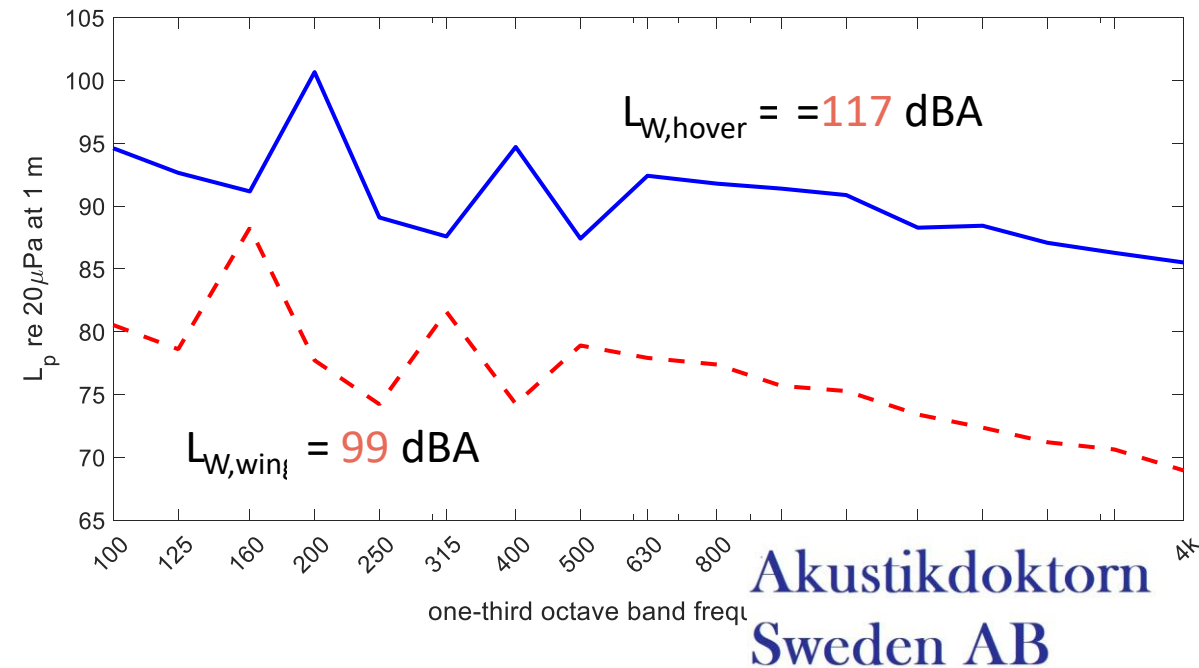
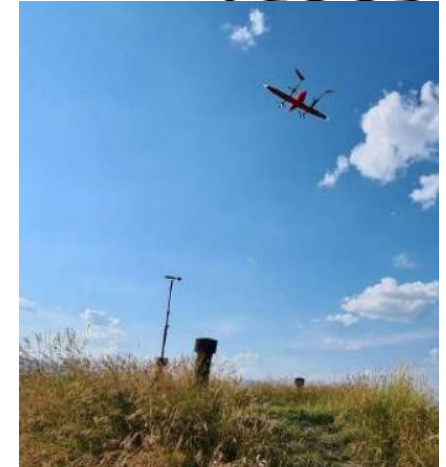
Noise metrics



Field measurements according to EASA guidelines

Fixed wing delivery drone: 20 kg MTOL, 2 kg payload.

- No spectral data available from EASA test: Calculated sound pressure spectra based on tonal noise components (rotor RPM => fundamental blade passing frequency and harmonics)
- Levels tuned to field test dBA measurements (EASA guidelines)
- Added sound power at take-off estimated from test bench data with 10% increase of thrust vs. hover
- Test data modified to account for increased weight and higher rotor pitch of KATLA UAV (40 kg/10 rotor)



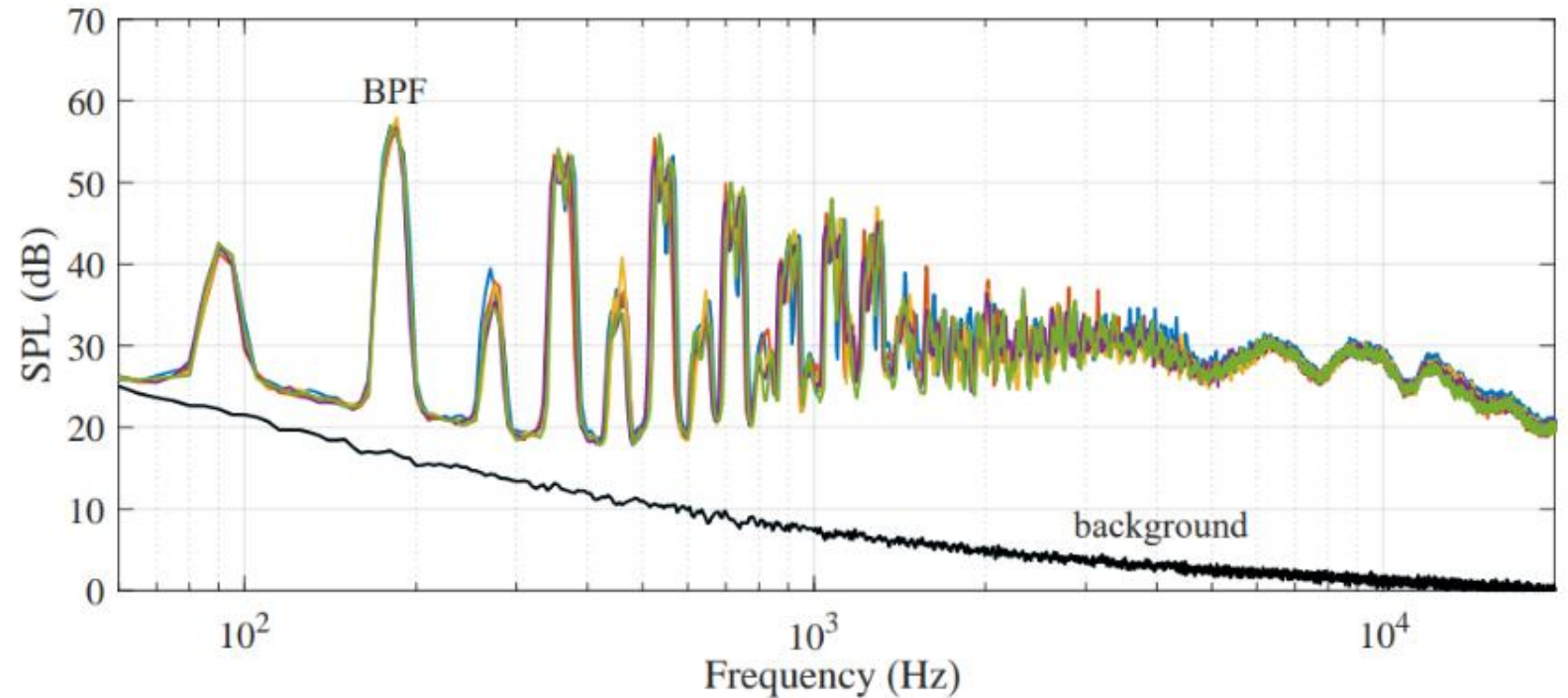
UAV source spectrum



- Highly tonal spectrum



- Increased annoyance in relation to e.g. jet aircraft



Agenda

1. Allmänt om drönarbuller - ny transportmod, acceptans kopplat till buller
2. Drönare som bullerkällor
3. **Bullerkartering med exempel från Östersund**
4. Regelverk och riktlinjer
5. Frågor och svar

1. Utveckling av ett beräkningsprogram – SAFTu

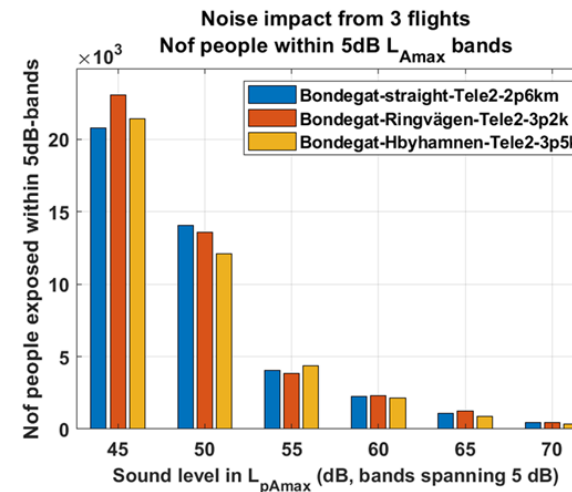
- *Behov:*
 - *nytt trafikslag/miljöfråga*
 - *förstå framtida situation*

2. SAFTu karakteristik och möjligheter

- *Överblick*
- *Beräkningsexempel från Östersund*

3. Framtida behov och möjligheter

- *Nyckelfrågor för framtida AAM buller*
- *Framtida utveckling*

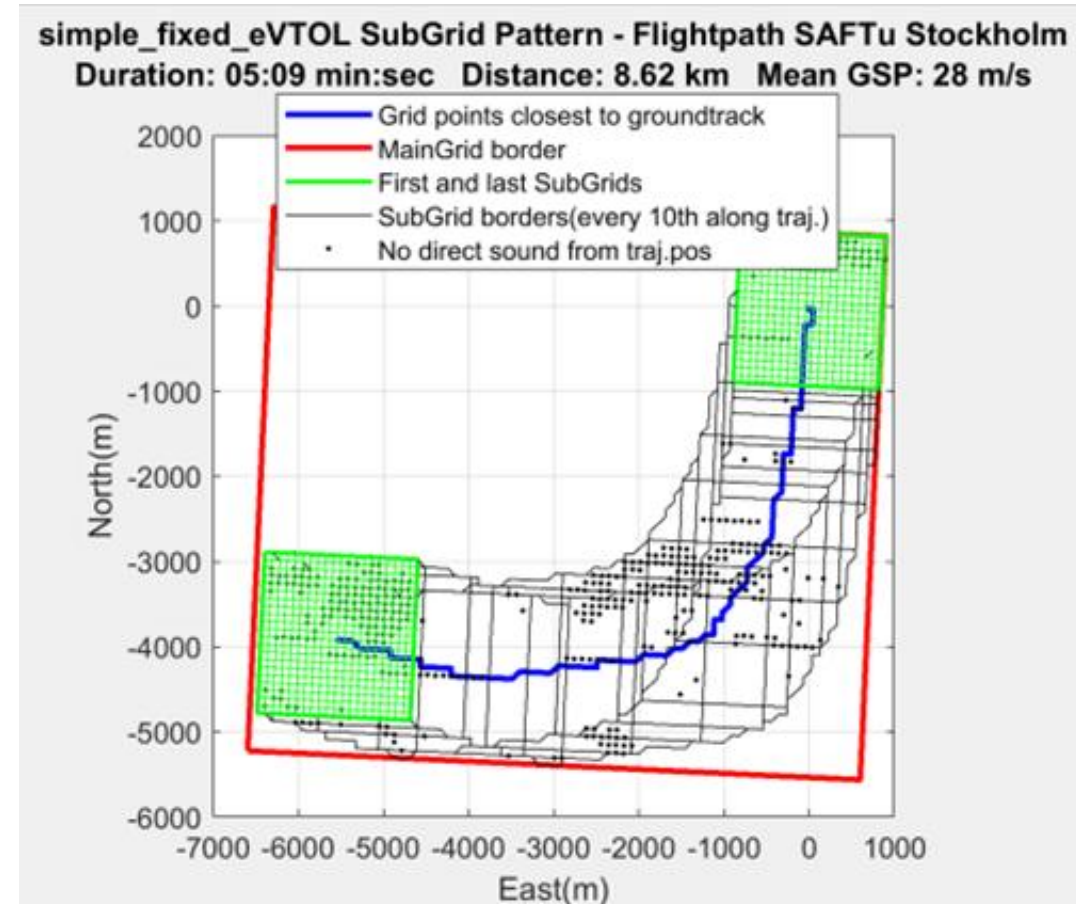
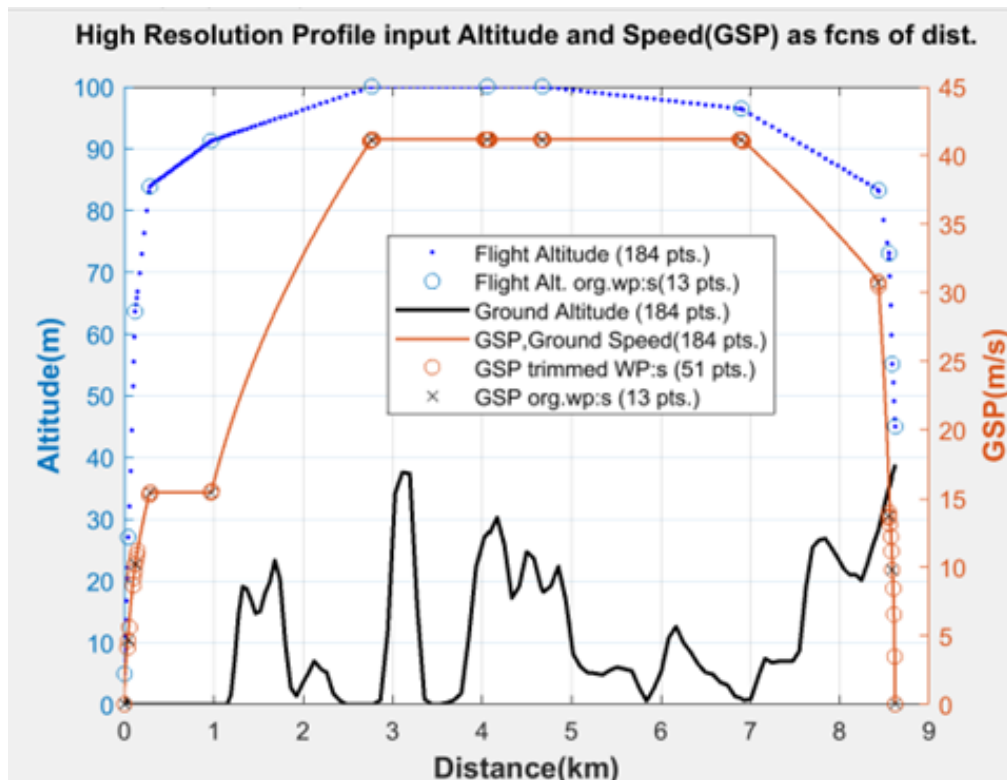


SAFTu Motivering

- NASA utvecklar beräkningsprogram (AIRNOISEUAM, OVERFLOW(CFD/CAA), ...?) men möjligheten att kunna nyttja dessa i Sverige känns 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

Flygprofil

blå = höjd som fkn av distans, röd = hastighet; svart: markhöjd längs flygbana)



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 ...**

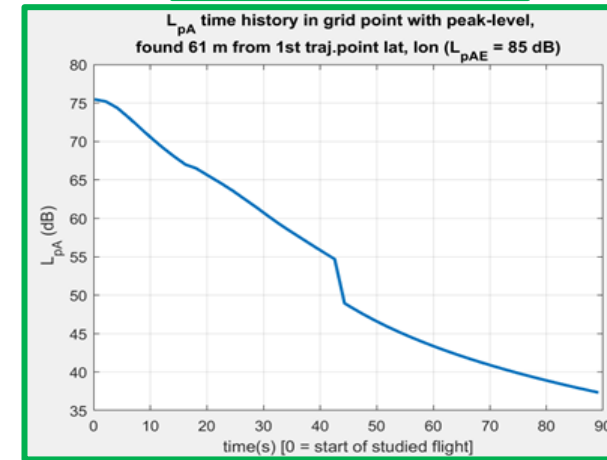
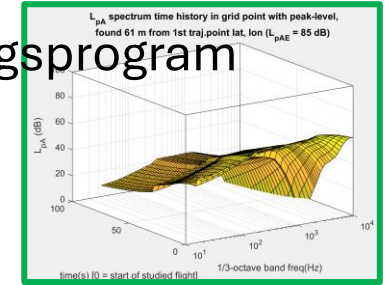
Input av:

- 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 : **S**imulering av **A**tmosfär och **F**lygtrafik för en **T**yshare omgivning
se länk: [Aircraft noise mapping code SAFT](#)

... 2. SAFTu karakteristik och möjligheter

- **Topografi och populationsdata integrerat i körningar**

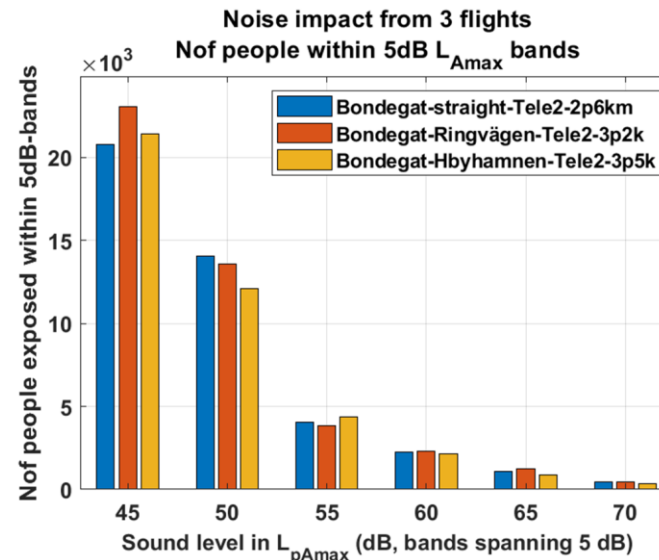
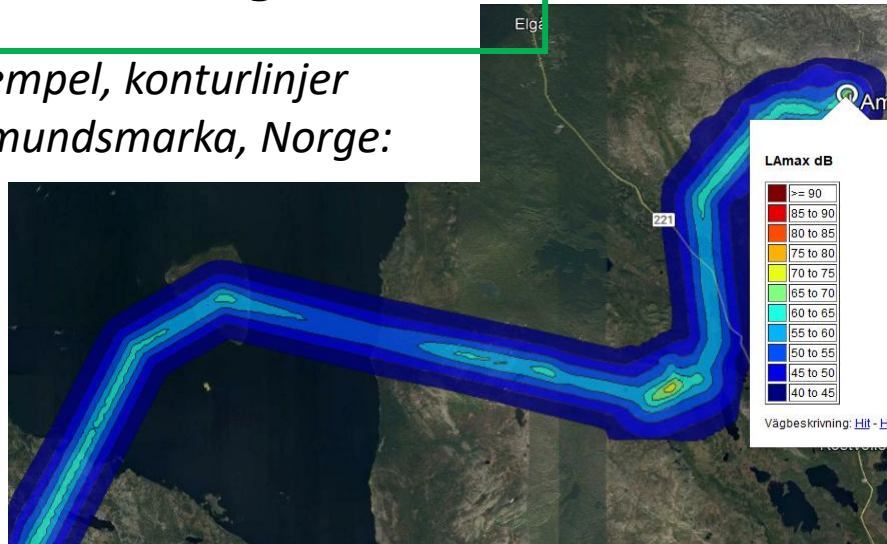
Nu används i SAFTu data som ska möjliggöra simulering av flygning var som helst på jorden (testat Sverige, Norge och Schweiz):

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

- **Användarvänligt**
- **Beräkningseffektivt**

Exempel, beräkning population (Stockholm):

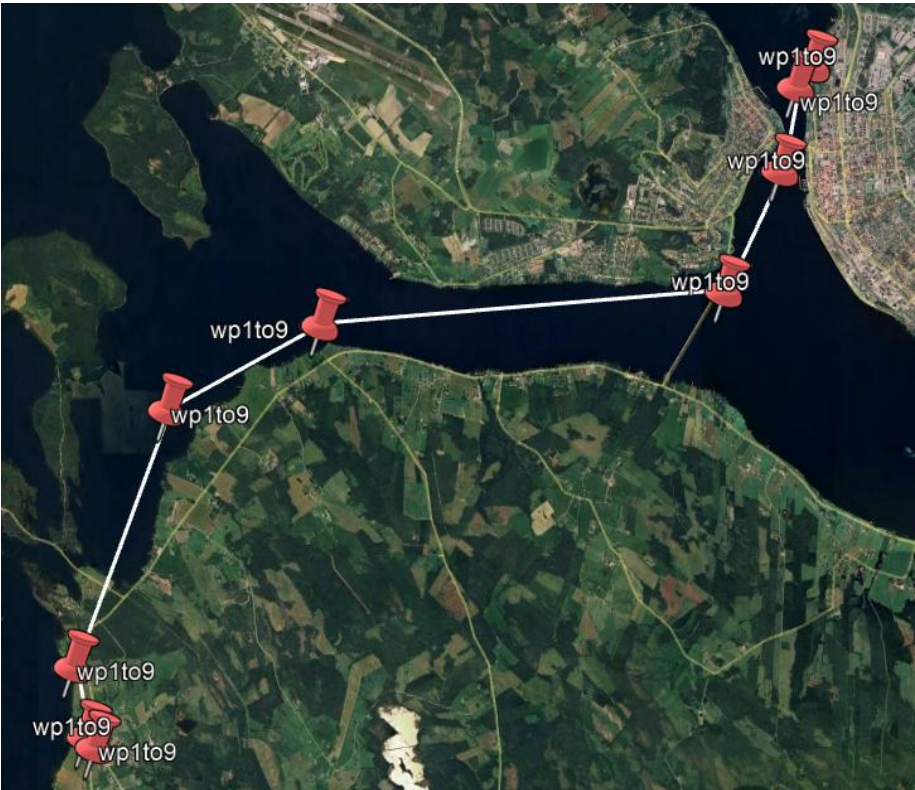
Exempel, konturlinjer
Femundsmarka, Norge:



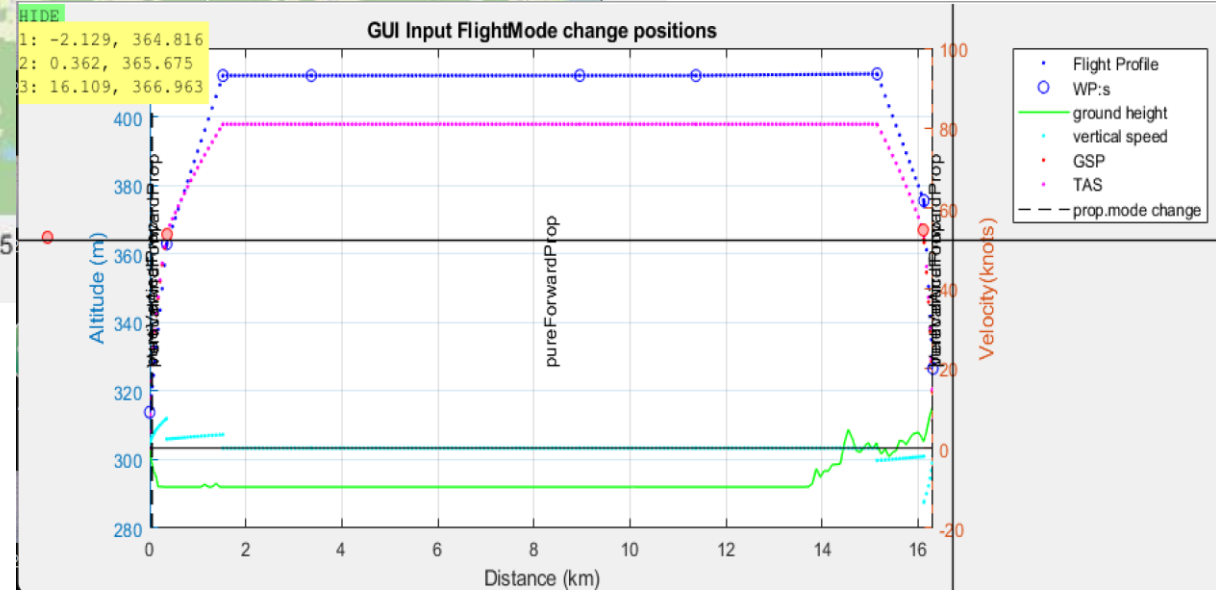
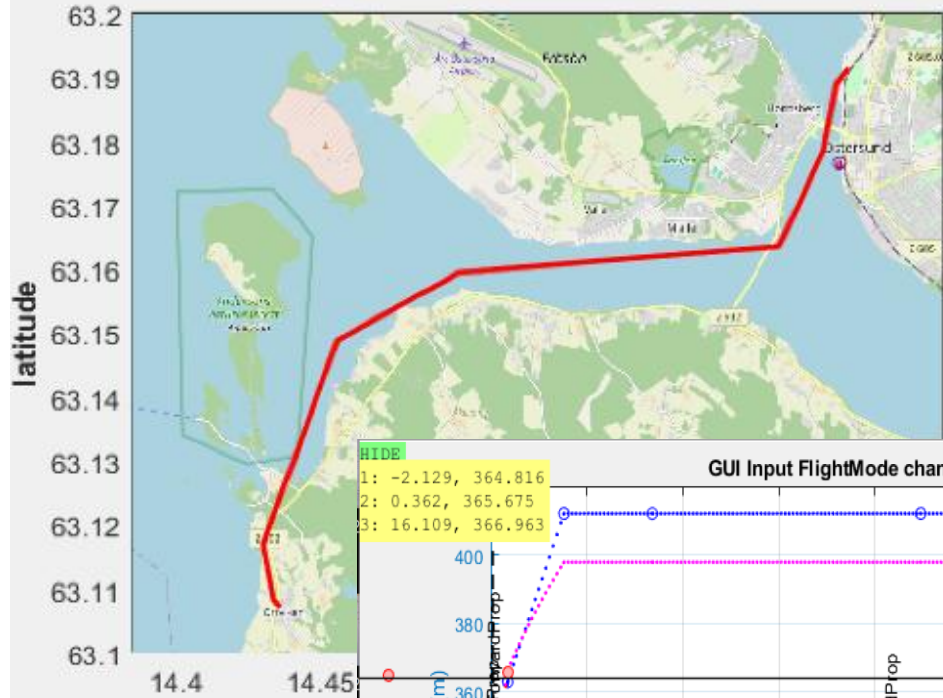
⁴ [Download DEMs in QGIS for a Specified Extent with the OpenTopography DEM Downloader Plugin](#), Video: Hans van der Kwast, data: OpenTopography

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

Rutt 1: Gjöviken heliport – Orrviken, ca 16 km

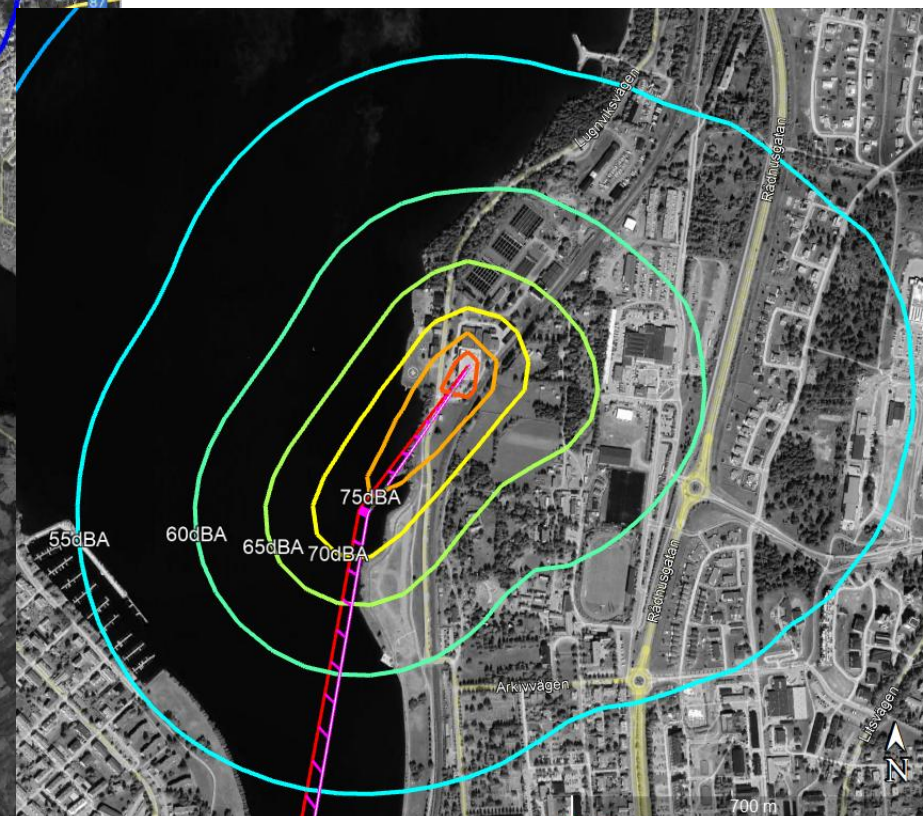
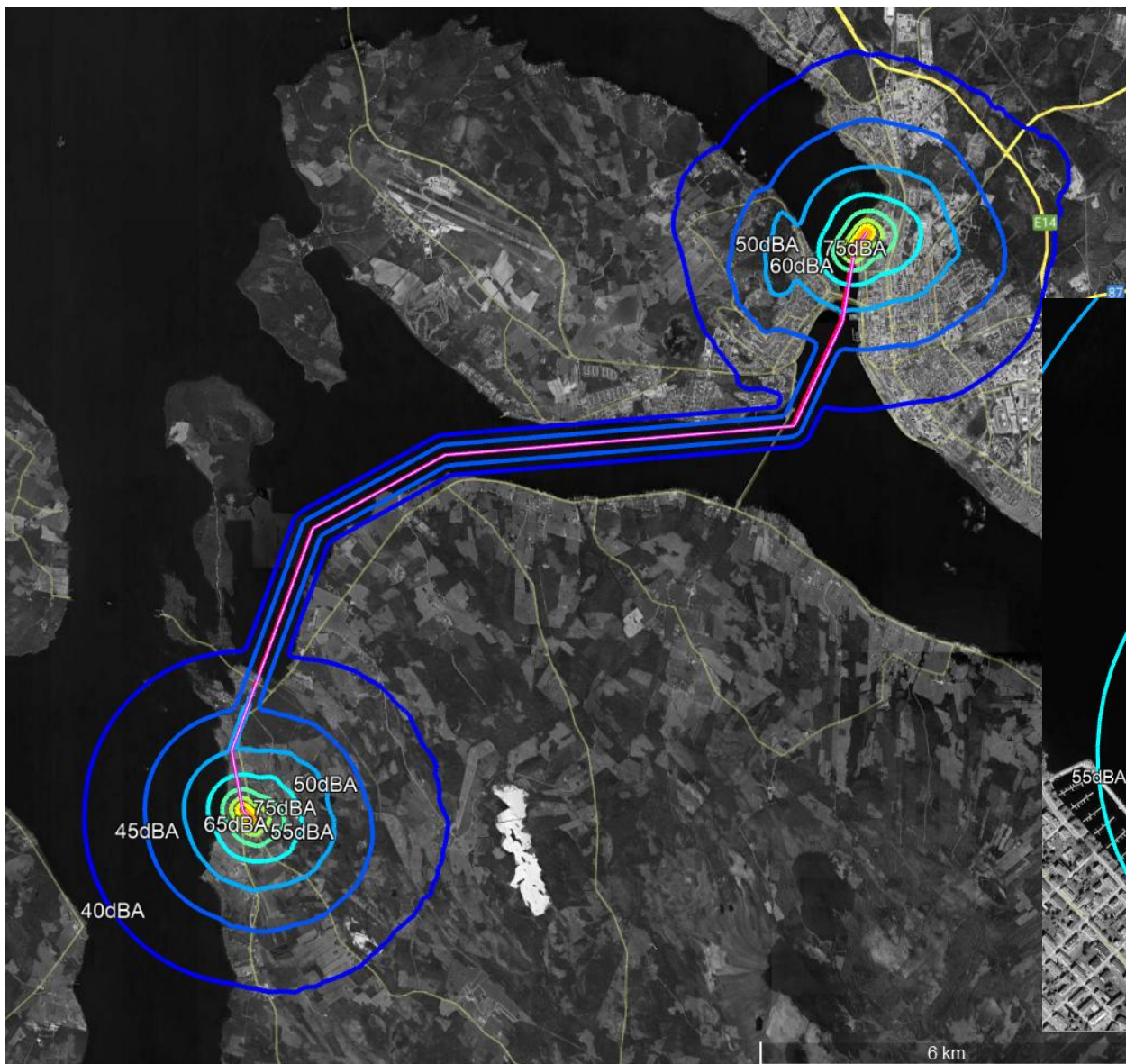


Flightpath SAFTu Jämtland
 Duration: 07:08 min:sec Distance: 16.3 km Mean GSP: 74 knots



Rutt 1: Gjövikens Heliport – Orrviken

Bullerkonturer: OBS uppskattad källstyrka

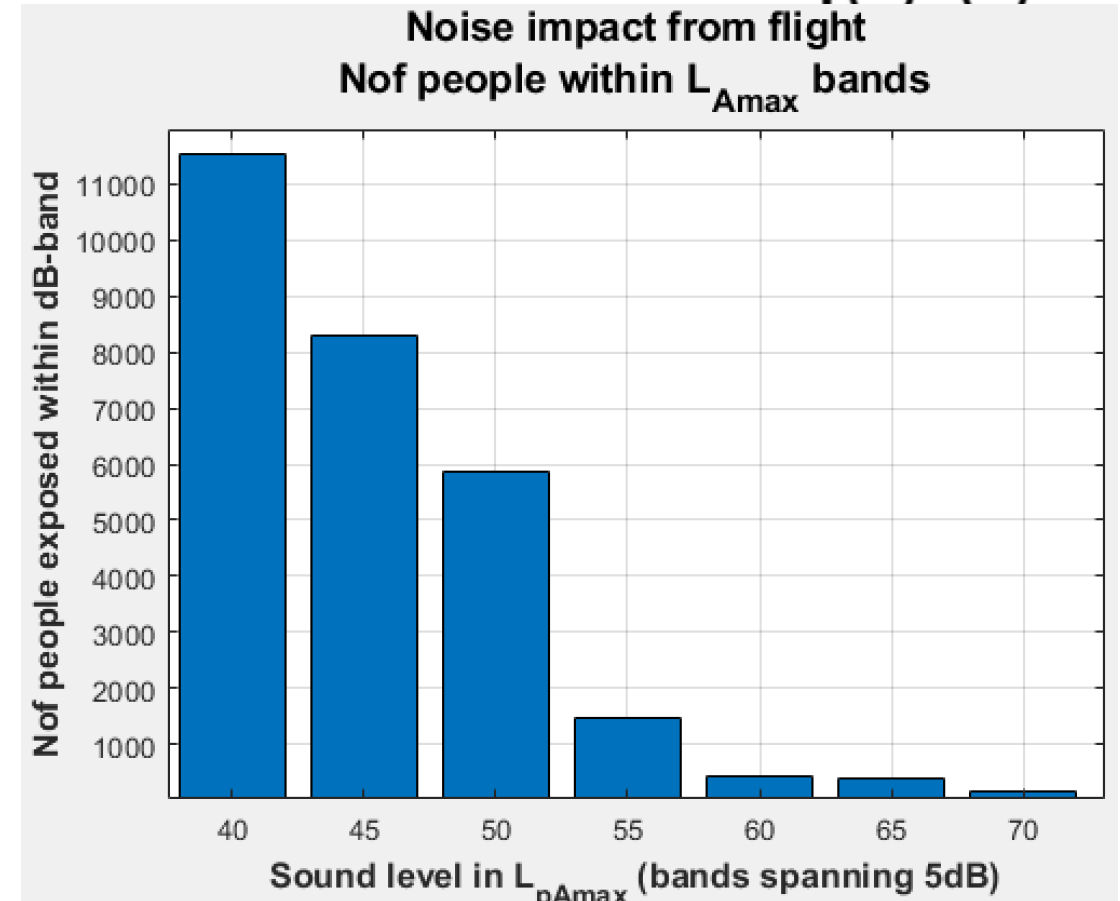
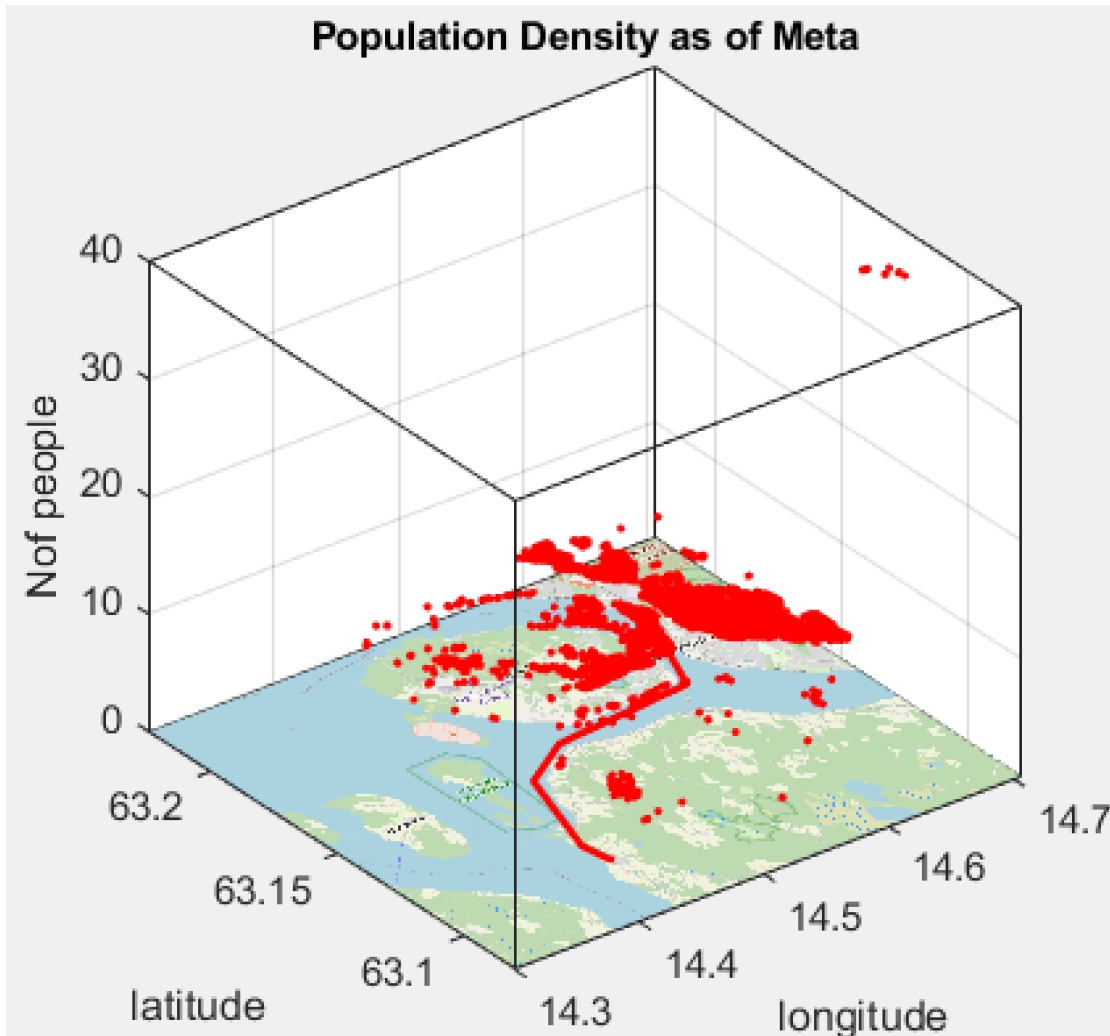


L_{Amax} (dB)

	80 to 85
	75 to 80
	70 to 75
	65 to 70
	60 to 65
	55 to 60
	50 to 55
	45 to 50
	40 to 45

Rutt 1: Gjövikens heliport – Orrviken

Bullernivåer med avseende på antal boende som utsätts



Computation is based on open data from:

[Sweden: High Resolution Population Density Maps](#)

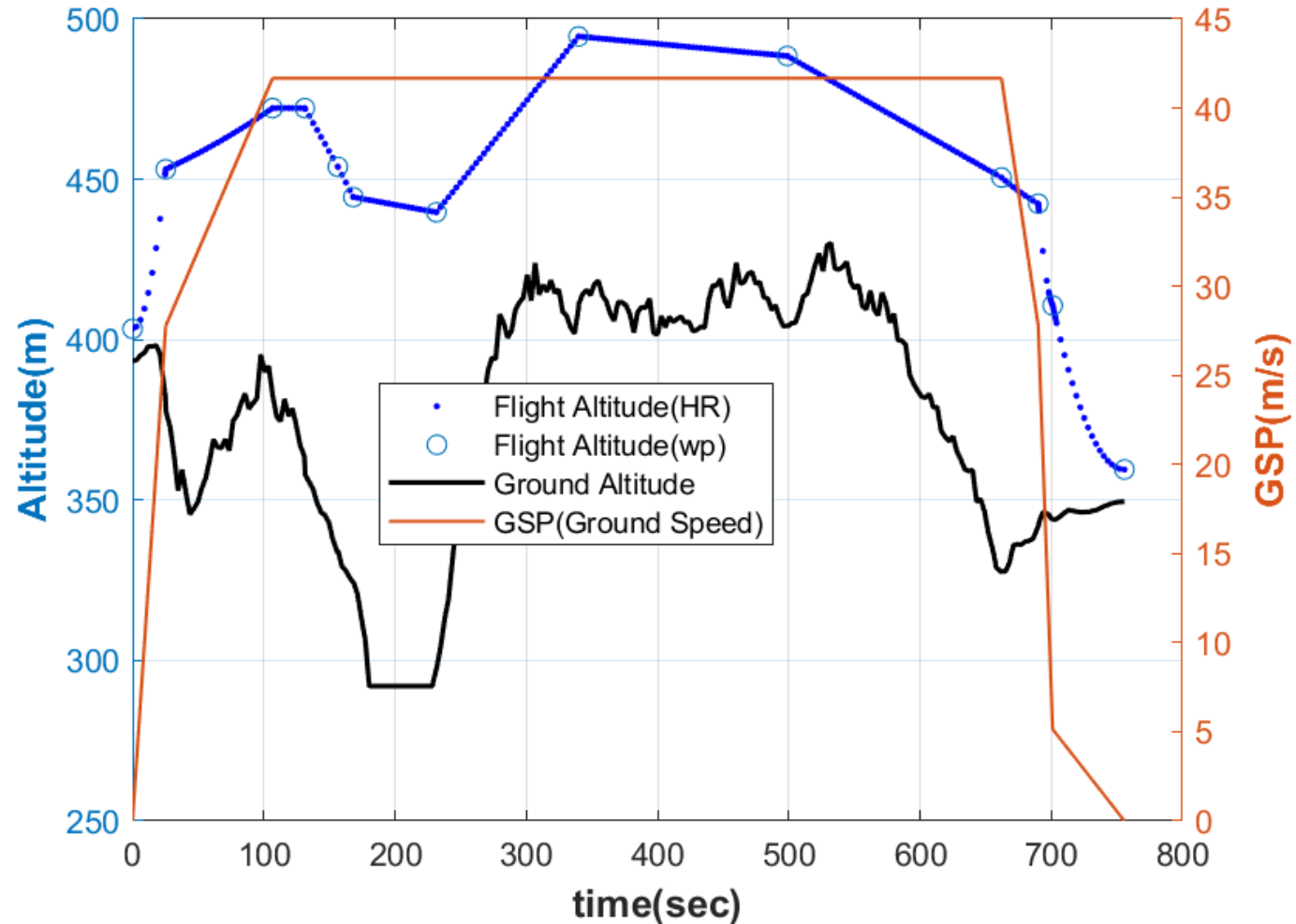
(swe_general_2020_geotiff.zip), OCHA

Rutt 2: Solliden – Fåker, ca 28 km

Flygprofil

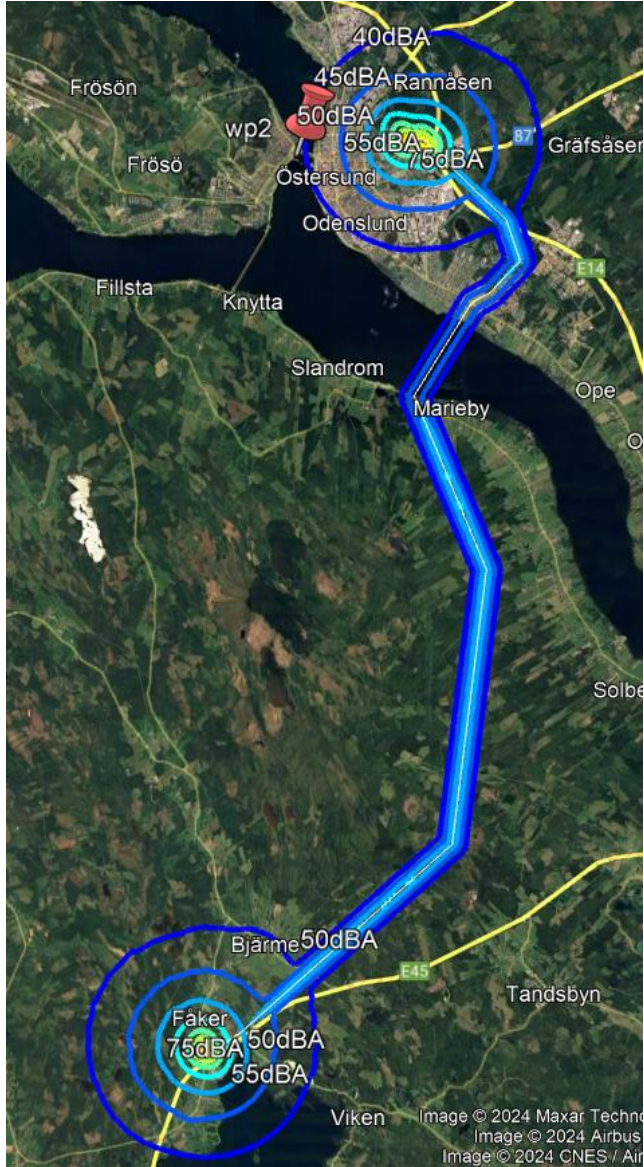


High Resolution Profile input Altitude and Speed(GSP) as a fcn of time



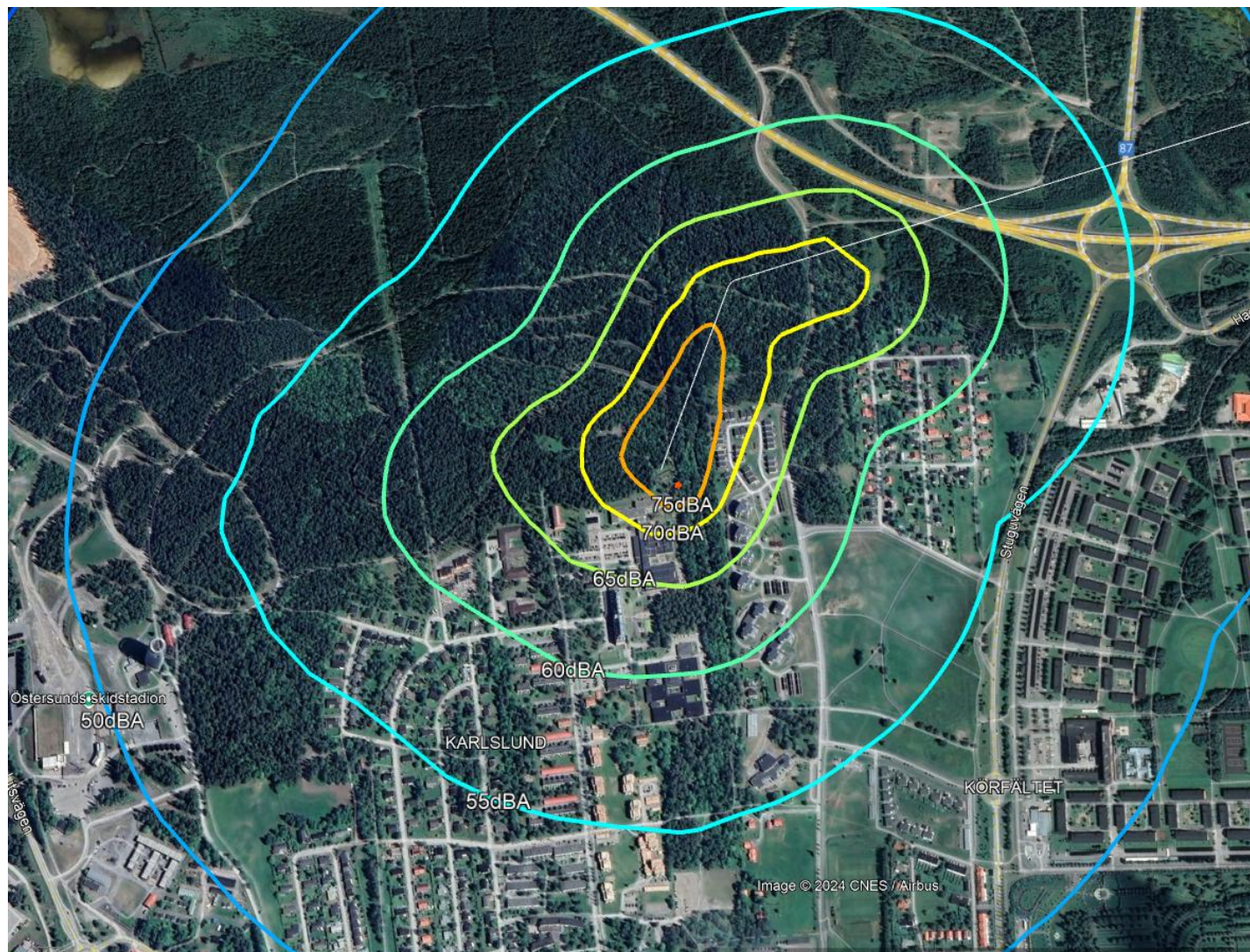
Rutt 2: Solliden – Fåker

Bullerkurvor I: OBS uppskattad källstyrka



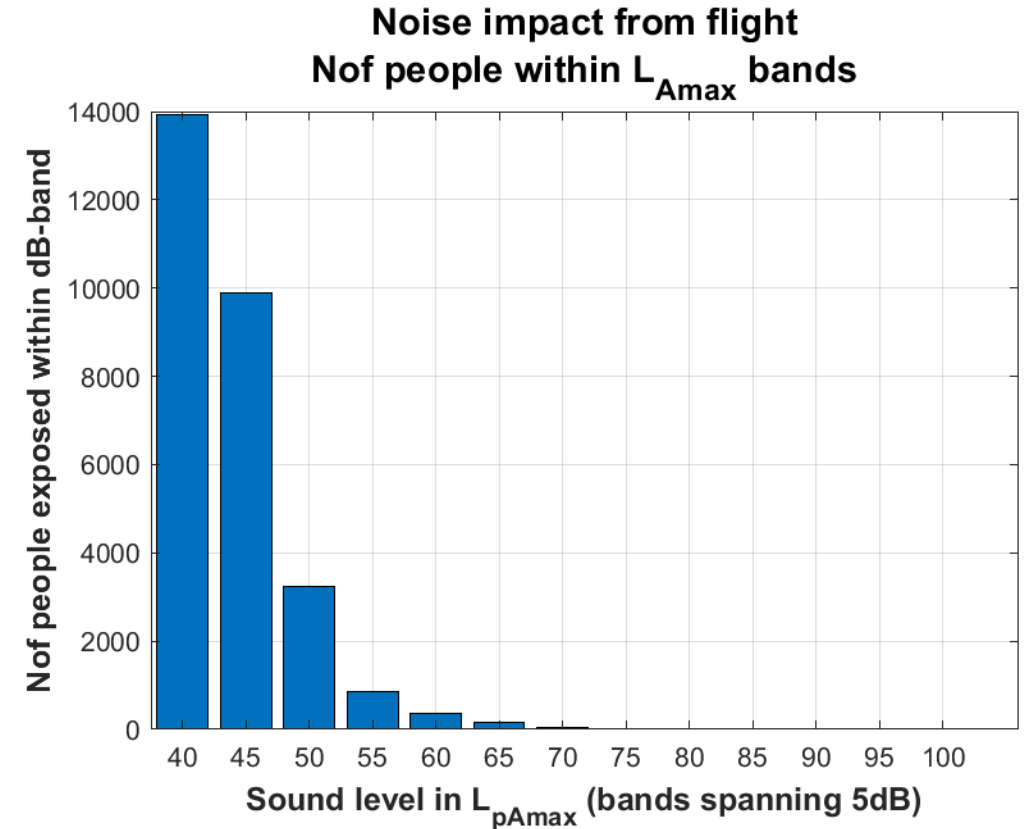
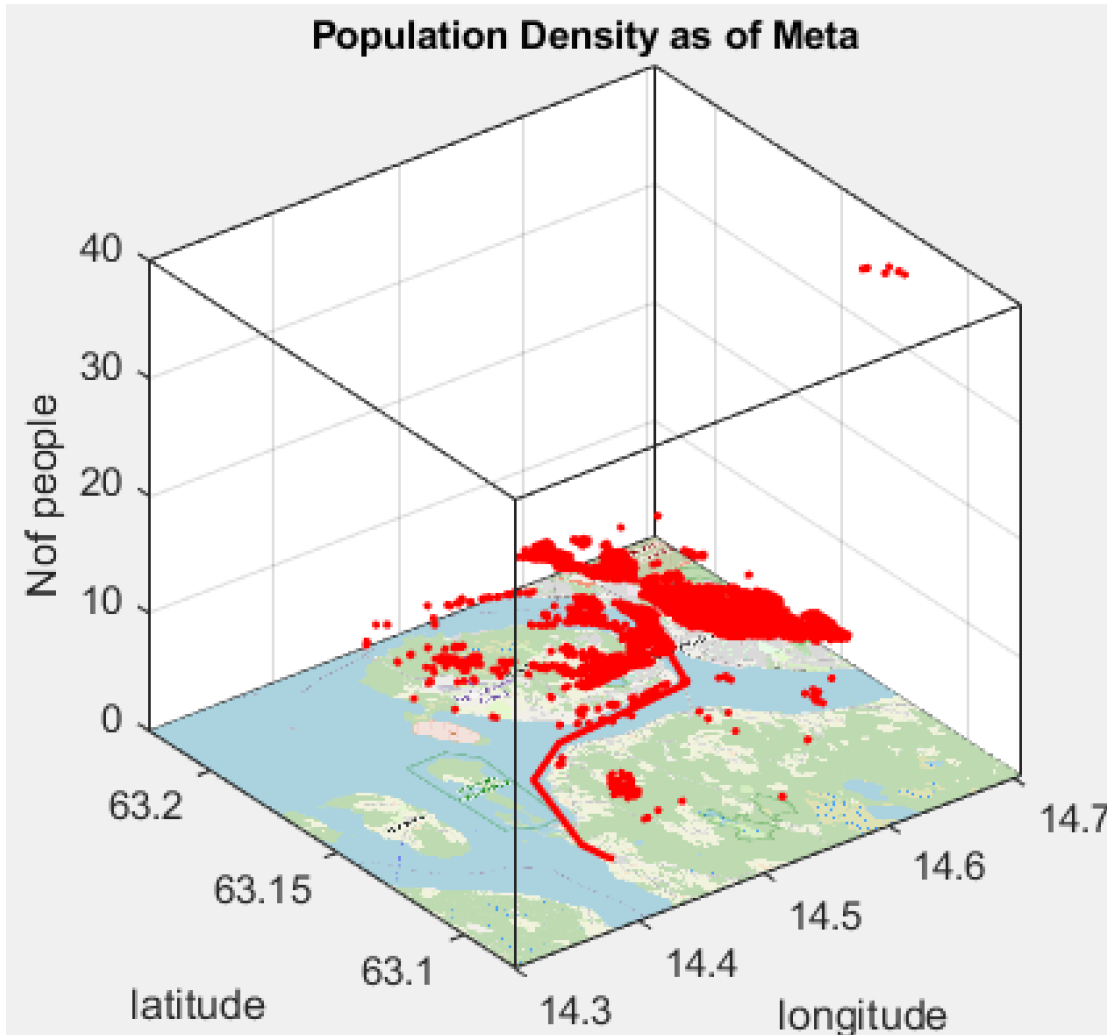
Rutt 2: Solliden – Fåker

Bullerkurvor II: OBS uppskattad källstyrka



Rutt 2: Solliden – Fåker

Bullernivåer med avseende på antal boende som utsätts



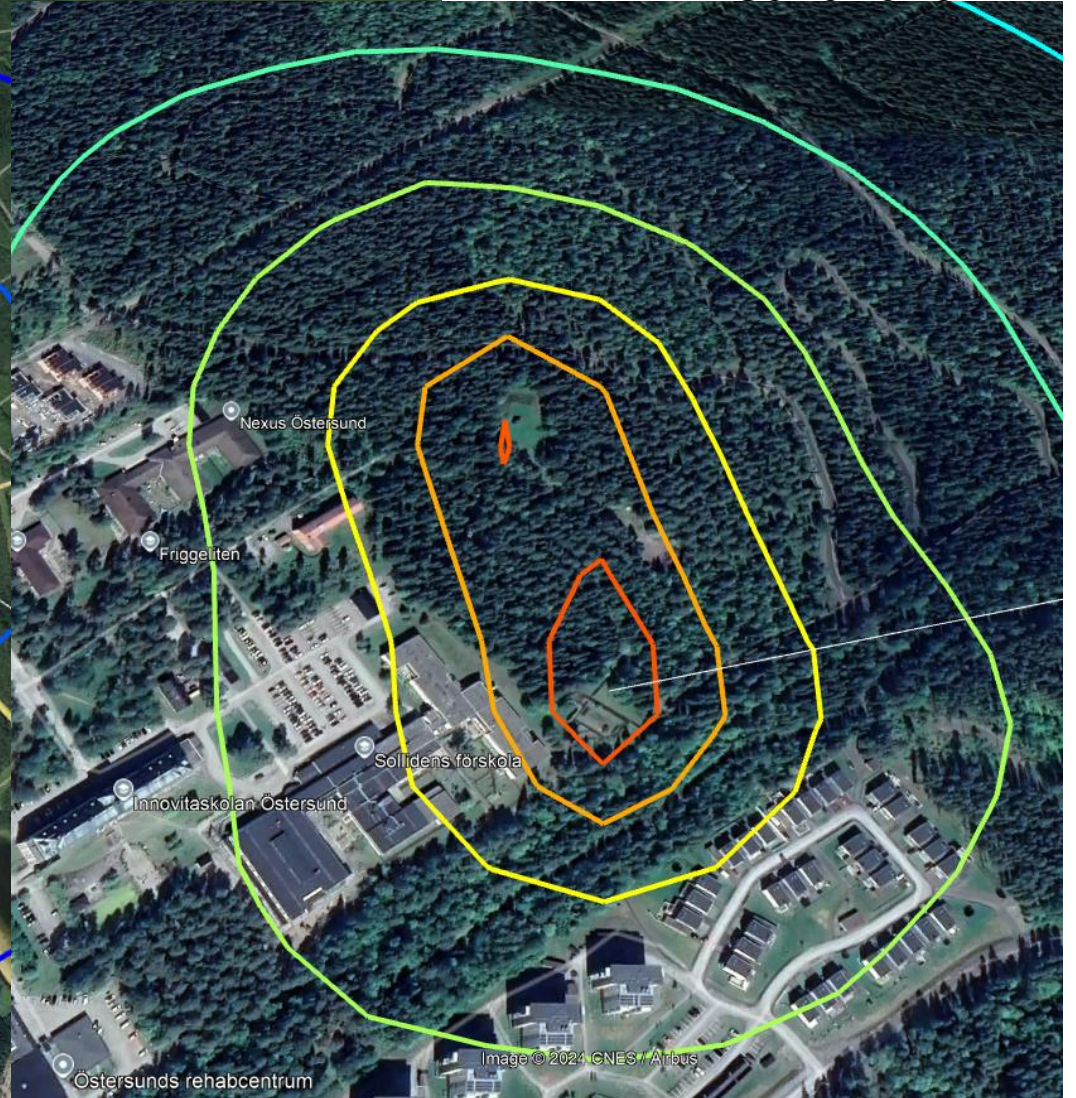
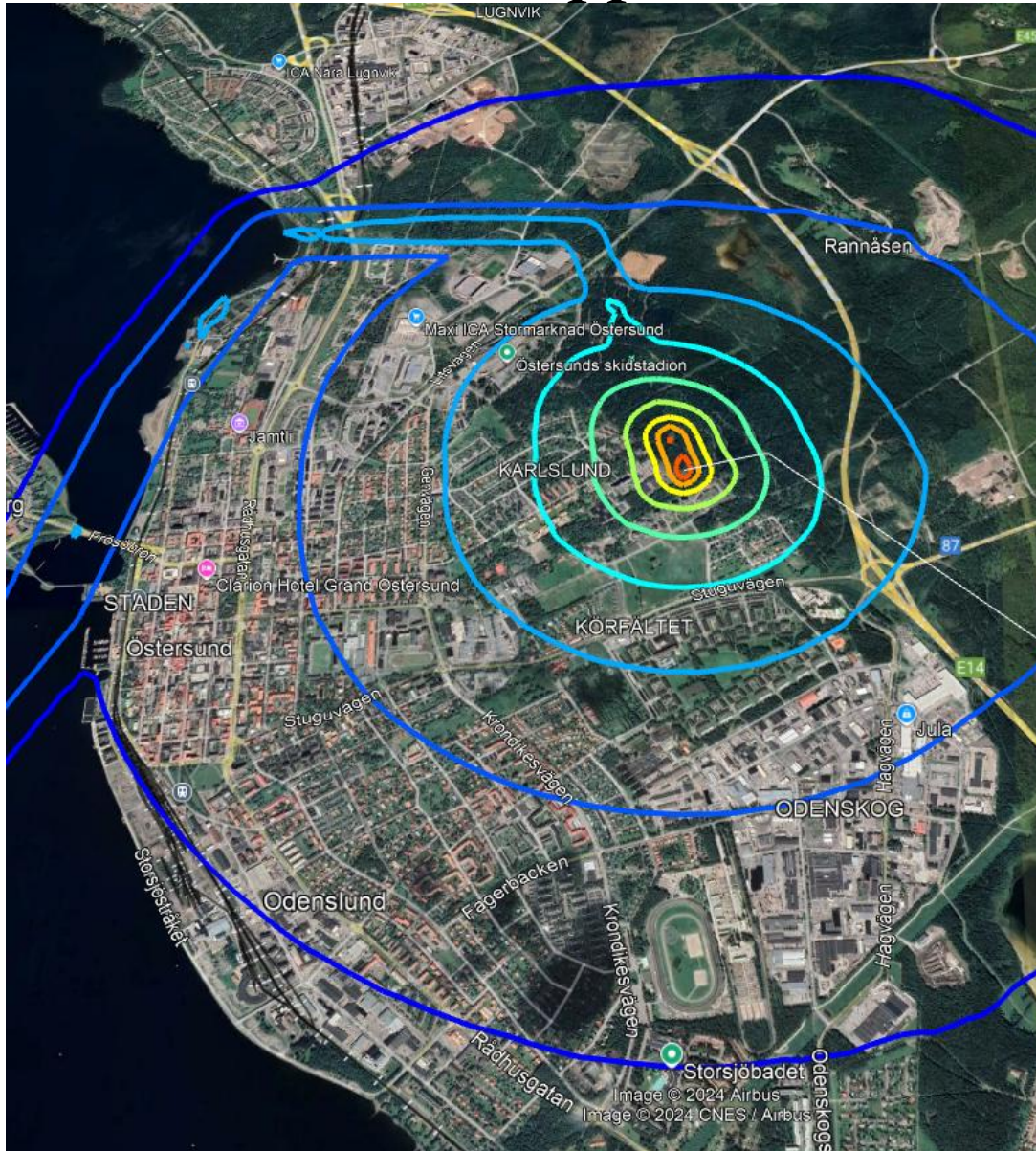
Computation is based on open data from:

[Sweden: High Resolution Population Density Maps](#)

(swe_general_2020_geotiff.zip), OCHA

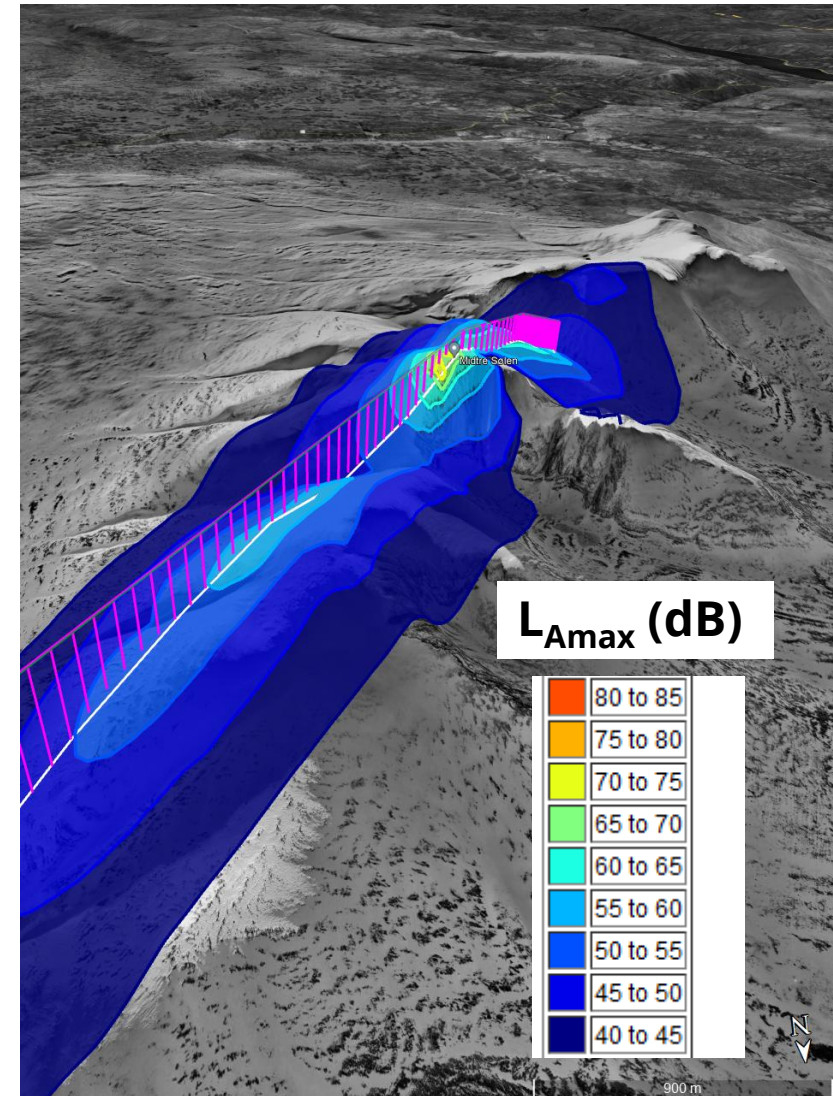
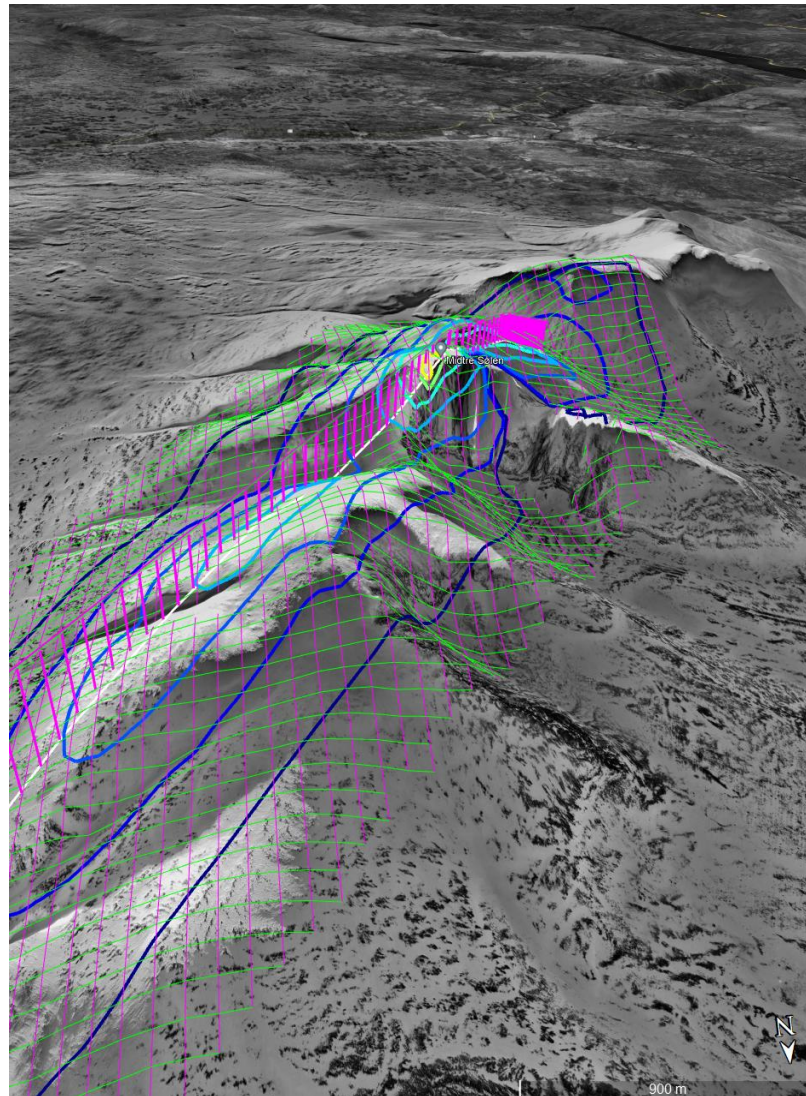
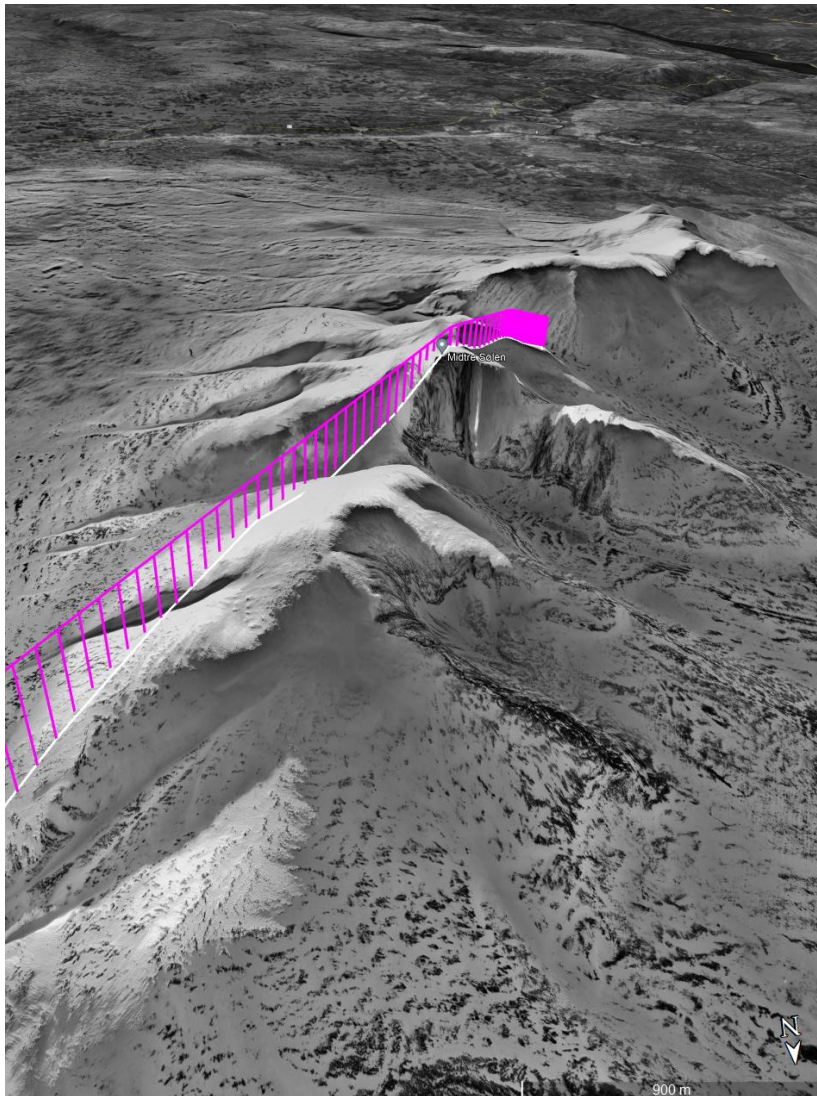
Rutt 3: Solliden– Orrviken

Bullerkonturer: OBS uppskattad källstyrka



L_{Amax} (dB)

Red	80 to 85
Orange	75 to 80
Yellow	70 to 75
Light Green	65 to 70
Cyan	60 to 65
Blue	55 to 60
Dark Blue	50 to 55
Very Dark Blue	45 to 50
Black	40 to 45



Preliminära slutsatser



40 kg leveransdrönare med fasta vingar ca 120 m över mark:

- Vingmod relativt tyst: $L_{A, \max} \sim 45-55$ dBA
- Multicoptermod: $L_{A, \max} \sim 75-80$ dBA vid landning
- **OBS Källdata för drönaren uppskattade från designparametrar. Mätningar nödvändiga!**
- Nuvarande riktvärden: De svenska riktvärdena för $L_{A, \max}$ vid byggnadsfasader kommer att styra snarare än $L_{A, EQ}$ -nivåer/FBN (energibaserade).
- Med hänsyn till den tonala karaktären hos drönarbuller förväntas att framtida referensvärden för UAV kan komma att sänkas i förhållande till de flygplan för att återspegla den större irritation som drönare ger upphov till (Gwak et al 2020).



Agenda

1. Allmänt om drönarbuller - ny transportmod, acceptans kopplat till buller
2. APIS upplägg och planerad output
3. Drönare som bullerkällor
4. Bullerkartering med exempel
- 5. Regelverk och riktlinjer**
6. Frågor och svar

Naturvårdsverkets tillsynsvägledning inom buller



Industribuller

Riktvärde	Leq dag	Leq kväll	Leq natt	LA,max natt	Leq lördag, söndag och helgdag (06-18)
dBA	50(45)	45(40)	40(35)	55(50)	45 (40)

(Nivåerna i tabellen ovan avser immissionsvärden vid bostäder, förskolor, skolor och vårdlokaler. De gäller utomhus vid fasad och vid uteplatser och andra ytor för utevistelse i bostadens närhet)

Ur Miljöprövningsförordning (2013:251) 24 kap. Hamnar och flygplatser

§5 Anmälningsskyldighet C och verksamhetskod 63.50 gäller för flygplats för motordrivna luftfartyg där mer än 500 flygrörelser per kalenderår äger rum.

Buller från flygtrafik och flygplatser (inklusive helikoptrar)

Flygbullernivå Maximal nivå

Riktvärde	L _{AFBN}	L _{AFmax}
dBA	55	70

I anslutning till en helikopterplatta kan trafiken vara av en sådan omfattning att olägenhet för människors hälsa kan uppstå om inte skyddsåtgärder vidtas.



Slutord: Buller och innovation

- Hur öka chanserna för lyckad integration i stadsmiljö?
 - Introducera inga överraskningar, hålla sig till det man lovat, växa med förstånd och i samförstånd
 - Var proaktiv med åtgärder och förklara bullernivåer från restriktioner och mätningar. Utbilda boende i akustik, simulera kvantitet och kvalitet, antal rörelser och delge ”bullerprognoser”.
 - Samarbeta med staden och regionen, följ processer för grannsamverkan, bered miljötillstånd för anläggningar med planerad trafik, var beredd på överklagan och miljömål, kommunicera, lyssna.



Beräknade ljudkartor kan användas som beslutsstöd samt för att förklara hur man arbetar med att minimera störningar



Frågor?





Extra material

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

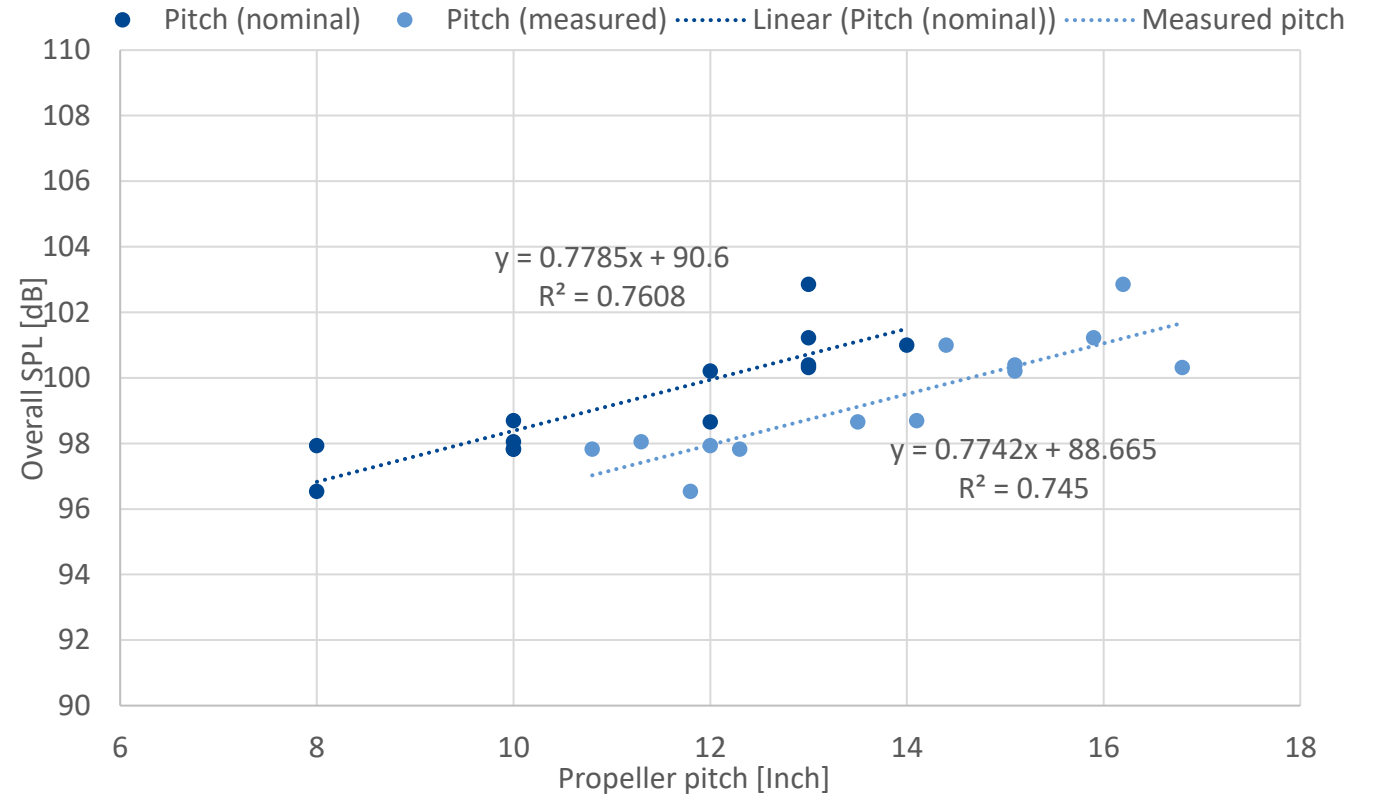
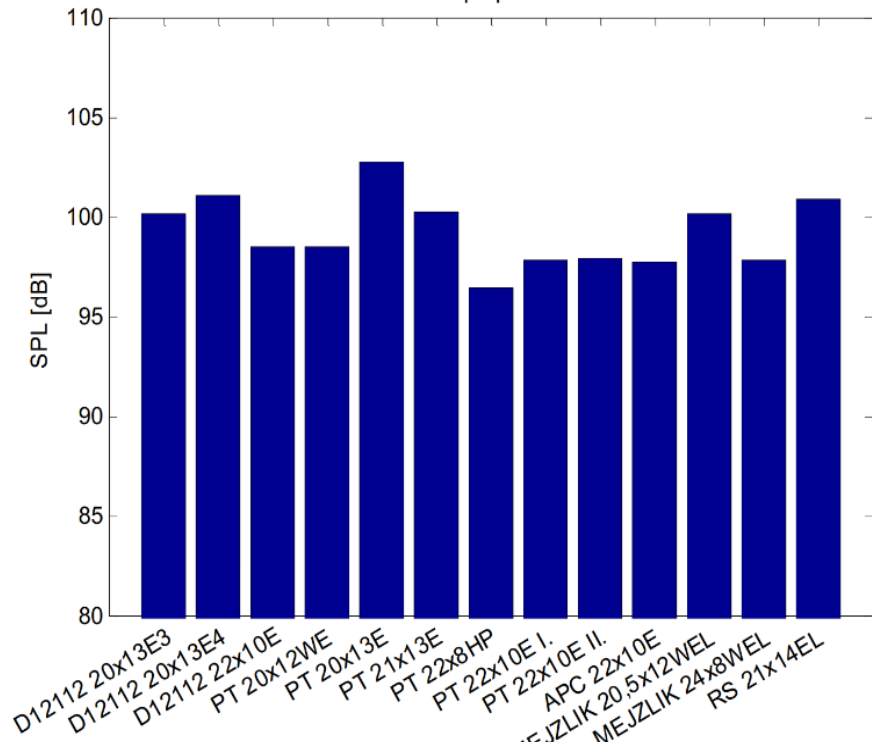
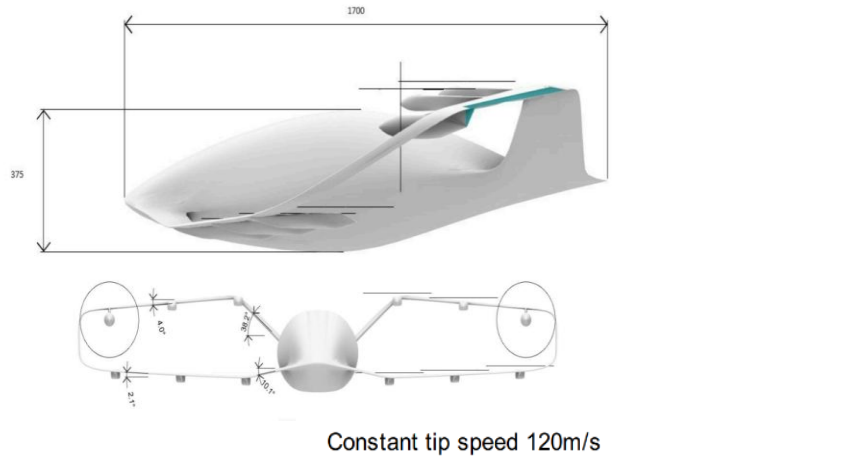


[Katla 40kg nyttolast 15 kg](#) (länk till Katla Aero och bild)



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

Noise generation vs rotor-pitch



Vít Štorch et al., Measurement of noise and its correlation to performance and geometry of small aircraft propellers, EPJ Web of Conferences ,114 02112 (2016)

UAV Annoyance rating



Schäfer et al 2021: A total of 24 studies included in systematic review on noise emissions of drones.

- Conclusion I: The literature of drone noise effects on humans is still scarce. Nevertheless, the current literature provides a fairly consistent picture, suggesting that drone noise is substantially more annoying than road traffic or aircraft noise due to special acoustic characteristics, in particularly pure tones and high-frequency broadband noise.
- Conclusion II: The increased annoyance to drone noise could be accounted for with level corrections (or, alternatively, stricter limit values for drone noise in environmental guidelines/legislation). However, currently available studies do not allow reliably defining such correction terms.

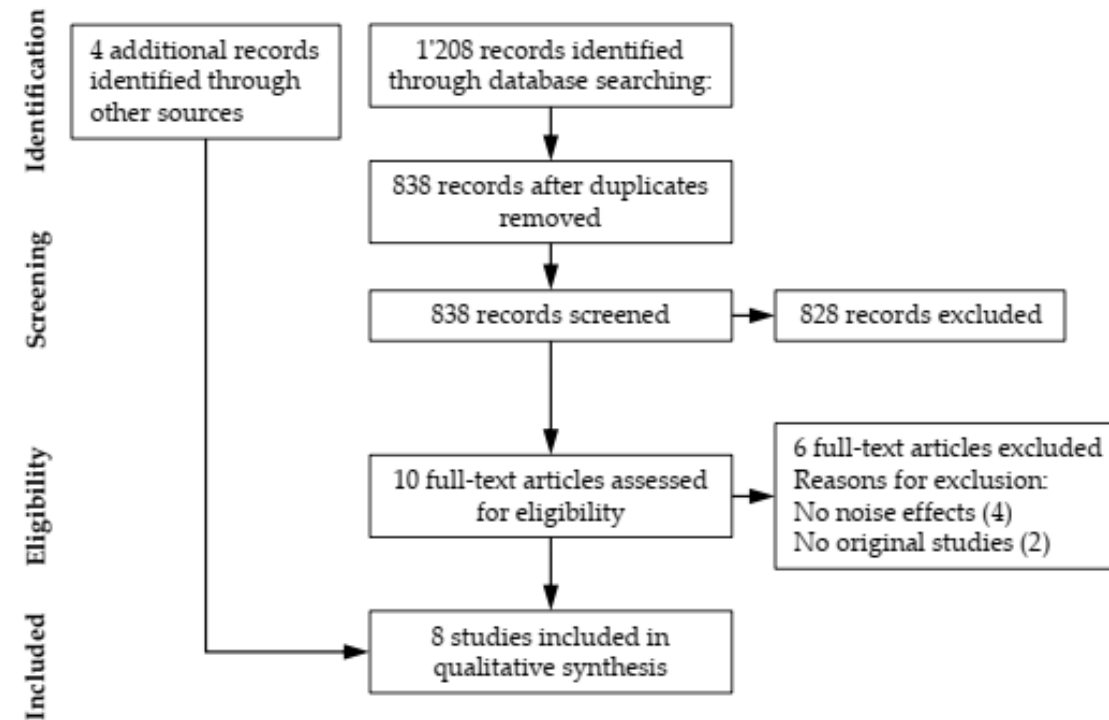


Figure 2. PRISMA flow diagram of the systematic review on noise effects of drones.

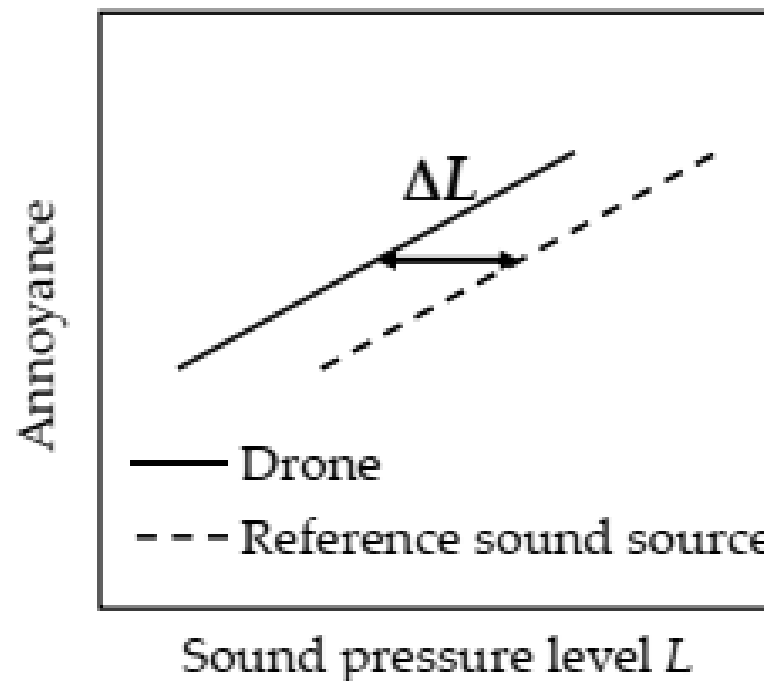
Annoyance from drones



Annoyance rating by comparing drone noise to road traffic or standard aviation noise

Example: Gwak et al . Sound quality factors influencing annoyance from hovering UAV. *J. Sound Vib.* **2020**, 489, 115651 :

$\Delta L_{Aeq} \sim 10$ dB
 (large drone vs. aircraft);
 $\Delta L_{Aeq} \sim 6$ dB
 (large vs. small drone);
 $\Delta L_{Aeq} \sim 4$ dB
 (small drone vs. aircraft)



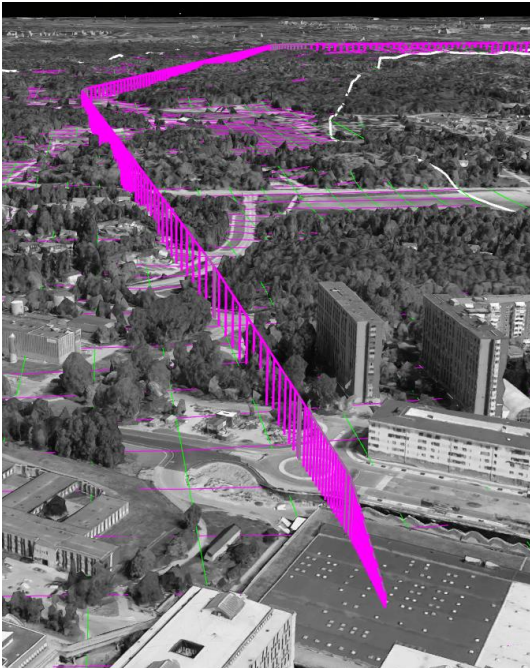
... 2. SAFTu karakteristik och möjligheter

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

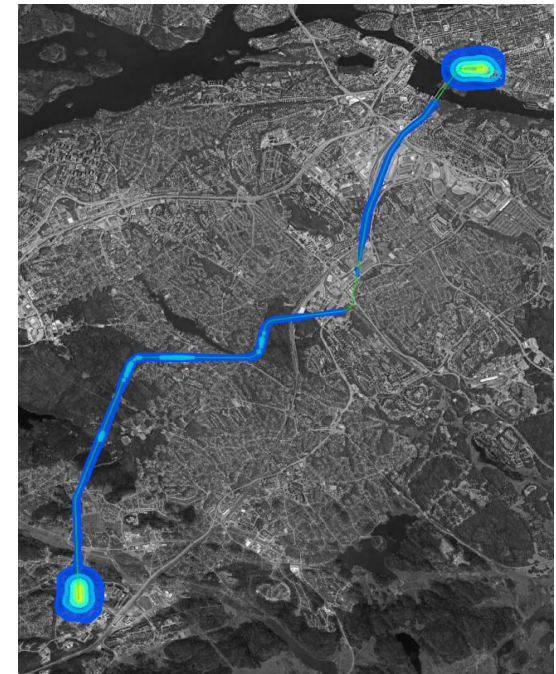
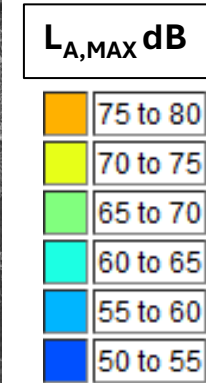
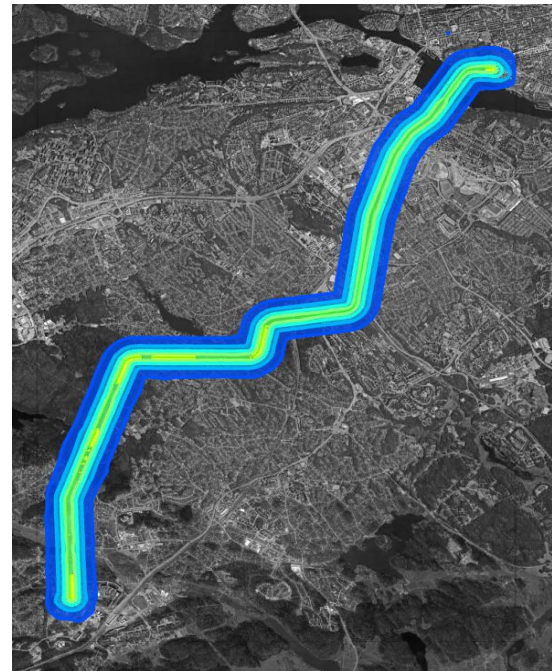


Quadcopter mode the entire way



Flight height above ground 40-60 m

Transition to wing mode.



Two different operational modes: Major sound reduction using wing mode

Multicopter directivity



- Multicopter sources somewhat directive, in particular at higher frequencies.
- Raw data: Experimental data sets measured for five small multicopter UAVs (4-6 rotor, $0.8 \text{ kg} < m < 3.5 \text{ kg}$)¹⁾.
- Fitting: Least absolute residual (LAR) method to a surface spanned by a 2nd order polynomial in frequency domain and a 3^d order polynomial in the φ -domain.

¹⁾ K. Heutschi et al. 2020, Synthesis of real-world drone signals based on lab recordings, [Acta Acustica, 46 \(2020\) 24](#)

