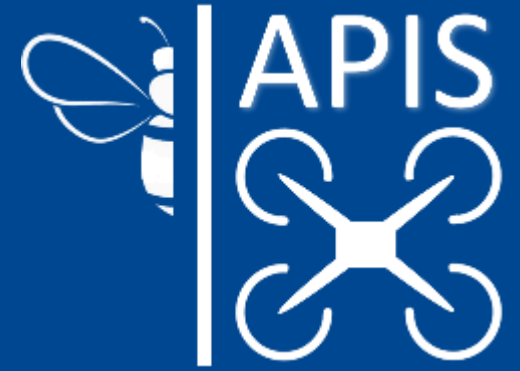




Bullermätningar och simuleringar inom AERO EDIH 2025-12-11

Ulf Orrenius, Akustikdoktor Sweden AB

AERO EDIH



Agenda

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



Agenda

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

Drönbuller

- ☐ 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!





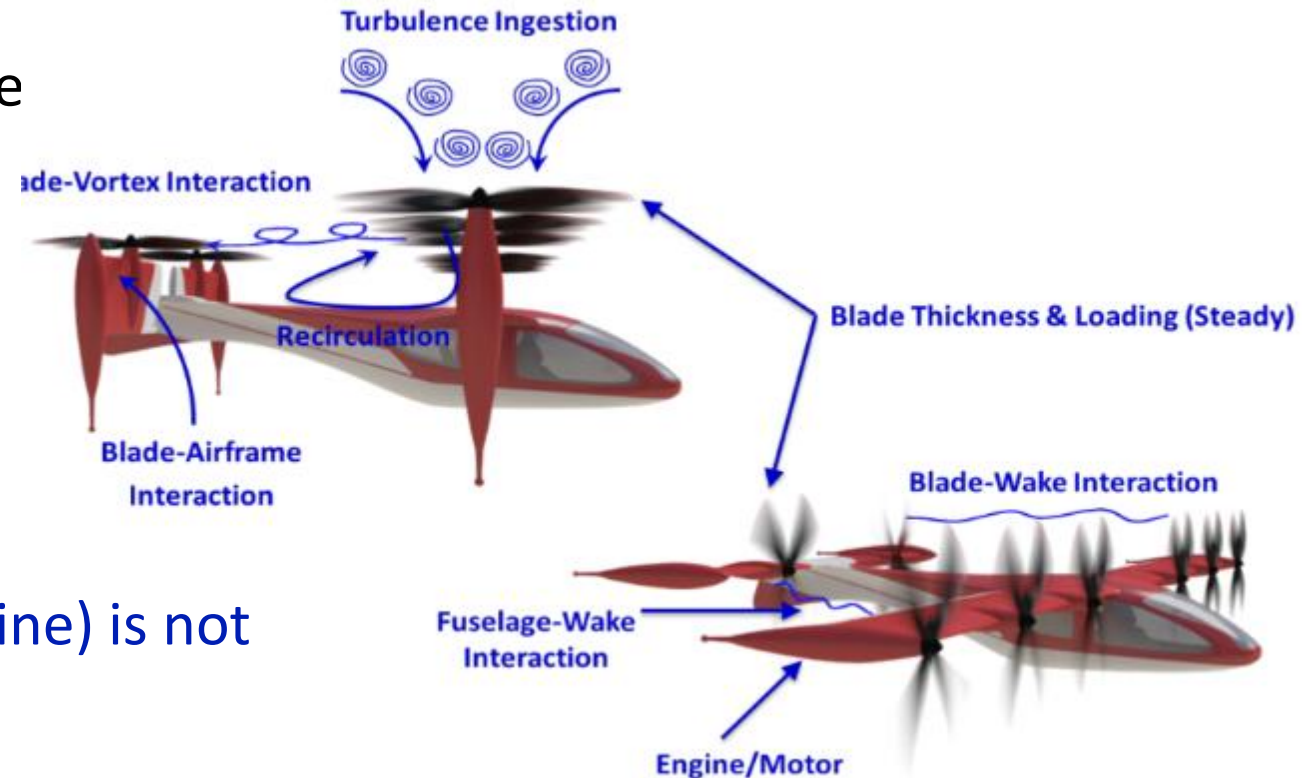
Agenda

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

Drönarbuller: vad är det som låter

- 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/ASA-TP-2020-5007433.pdf>

Akustikdoktorn
Sweden AB

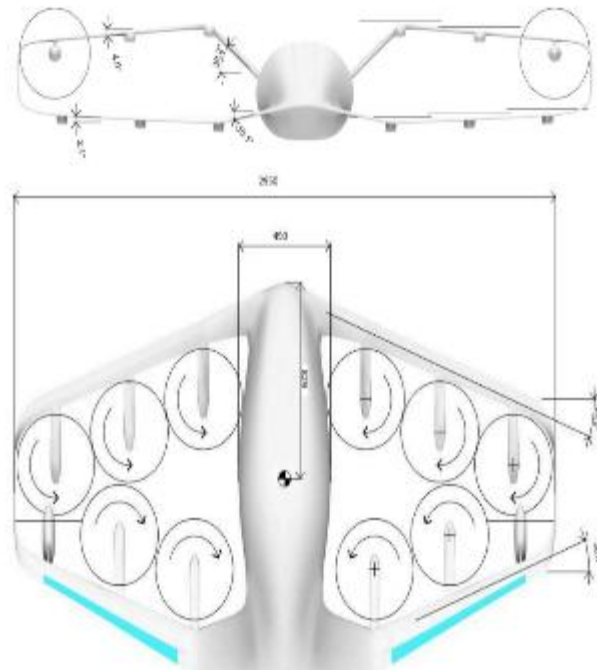
Transportdrönare

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

Sweden AB

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)*



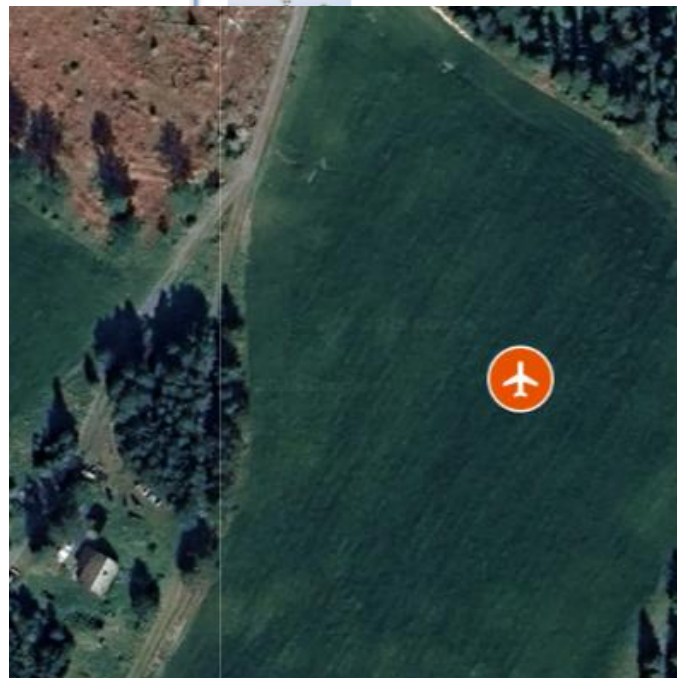
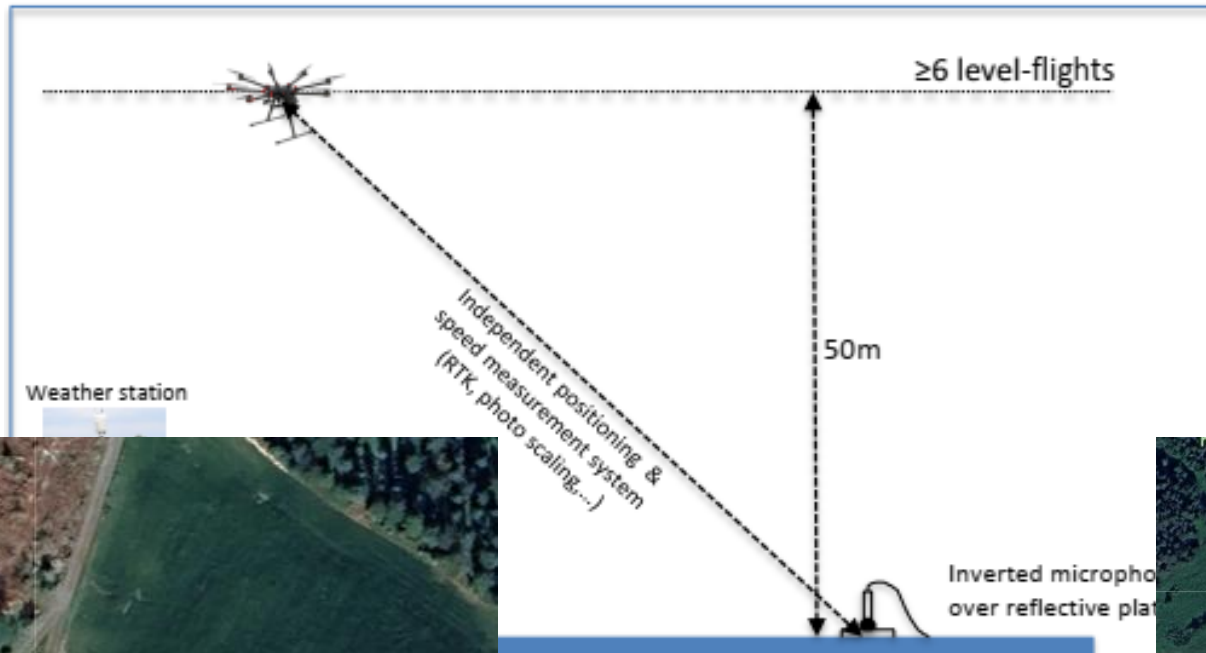


Agenda

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

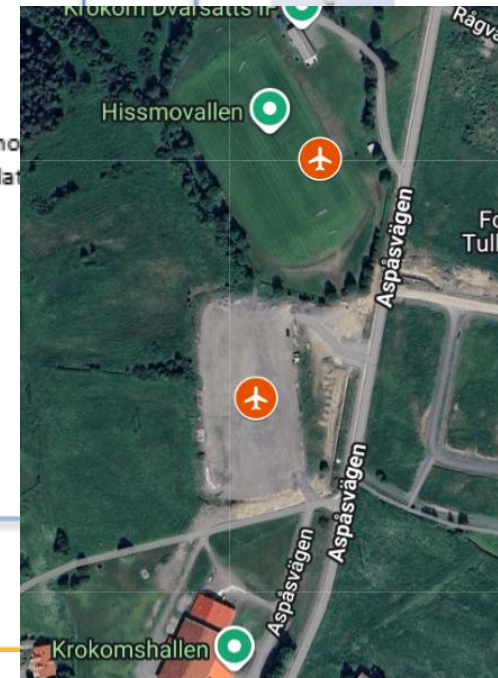
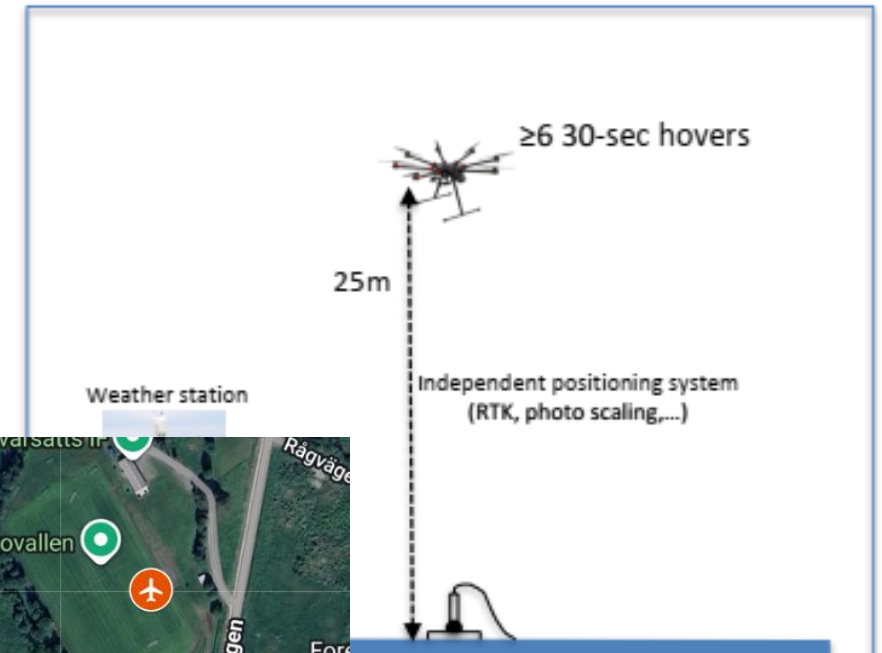
EASA: Measurement guidelines (from 2023)

Noise measurement procedures



light procedure with post-test noise

absorption.
tion.



ple of stationary flight, Hover
h post-test noise adjustments

ic absorption.

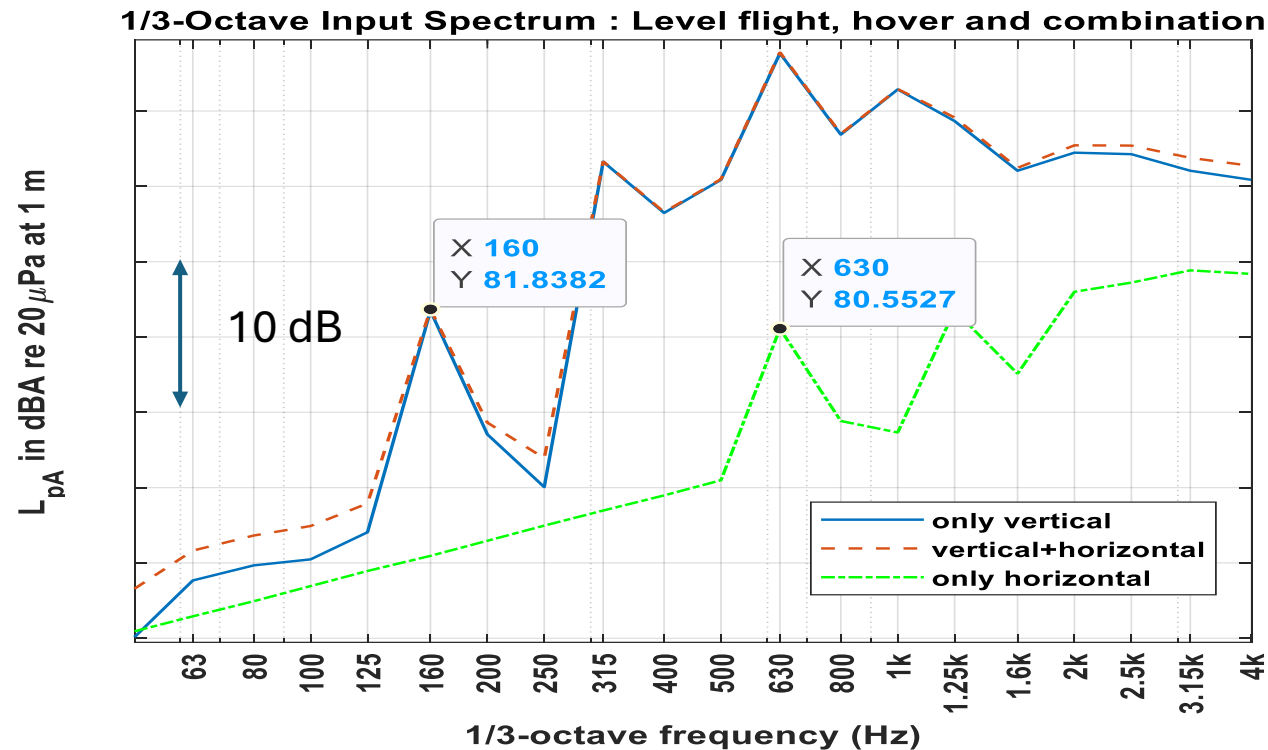
Measurements according to EASA at Krokomb Sweden



Akustikdoktorn
Sweden AB

Measurement according to EASA guidelines

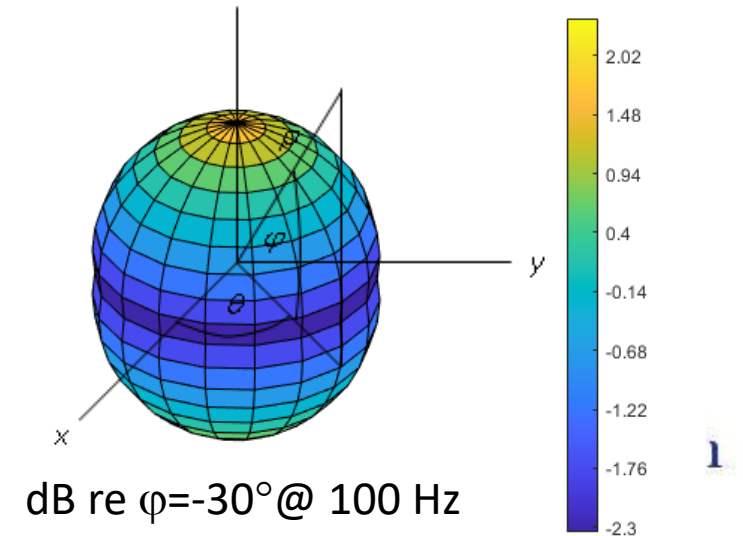
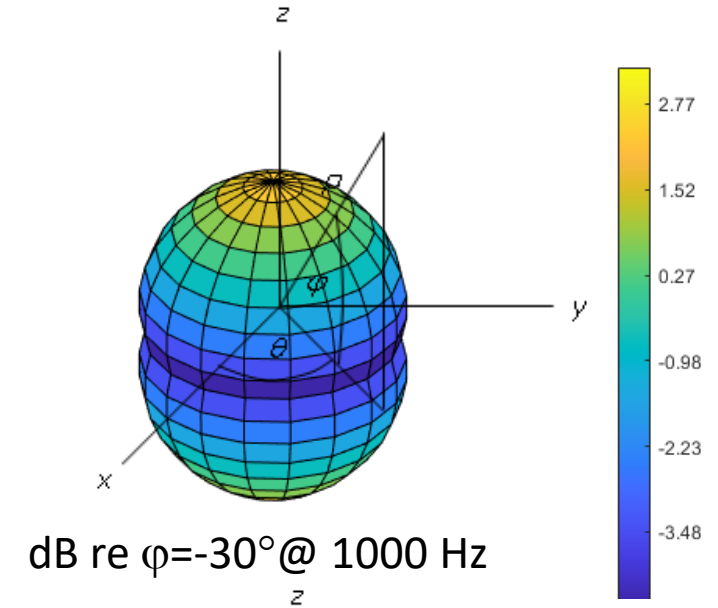
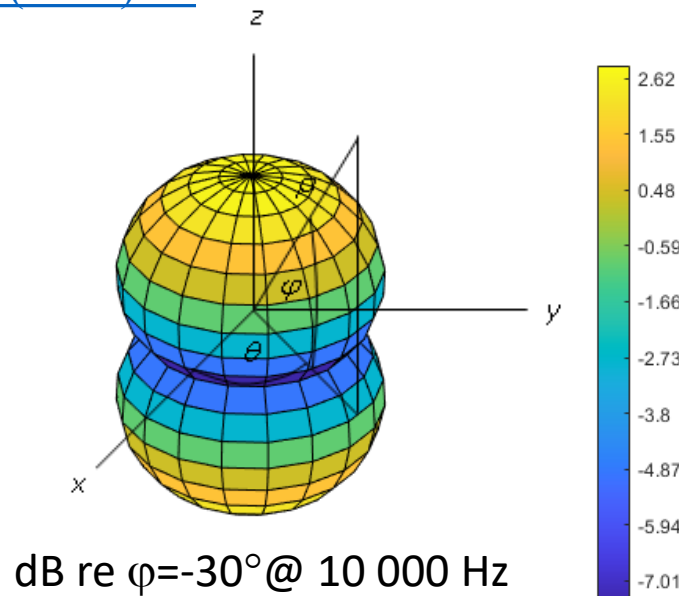
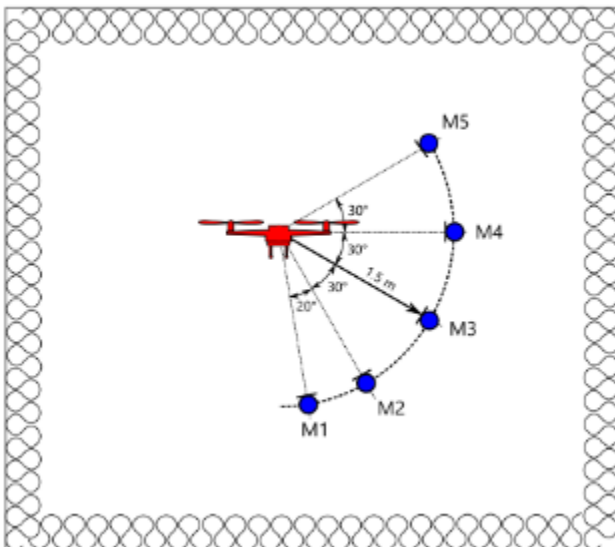
- EASA guidelines — [EASA 2023. Guidelines on noise measurement of unmanned aircraft systems lighter than 600 kg. Operating in the specific category \(low and medium risk\)_rev1. European Union Aviation Safety Agency.](#)



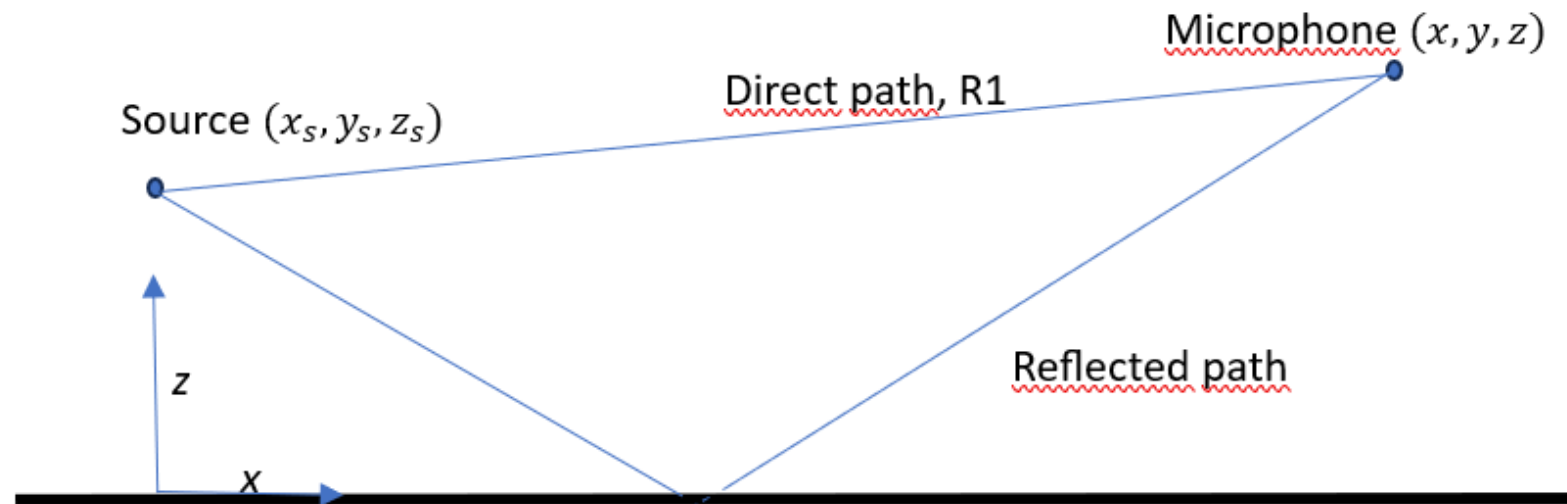
Multicopter directivity

- 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](#)



Flaggstångsmätningar



$$p_{total}(\mathbf{r}) = \frac{e^{-ikR_1}}{4\pi R_1} + R_p \frac{e^{-ikR_2}}{4\pi R_2} \quad R_p(\theta_i) = \frac{\cos(\theta_i) - \beta}{\cos(\theta_i) + \beta} \quad \beta = \rho_0 c_0 / Z_s$$

Image source

Delany and Bazely: $\frac{Z_c}{\rho_0 c_0} = 1 + 0.0571 \chi^{-0.754} - j0.0870 \chi^{-0.732} \quad ; \quad \chi = \frac{\rho_0 f}{\sigma}$



Agenda

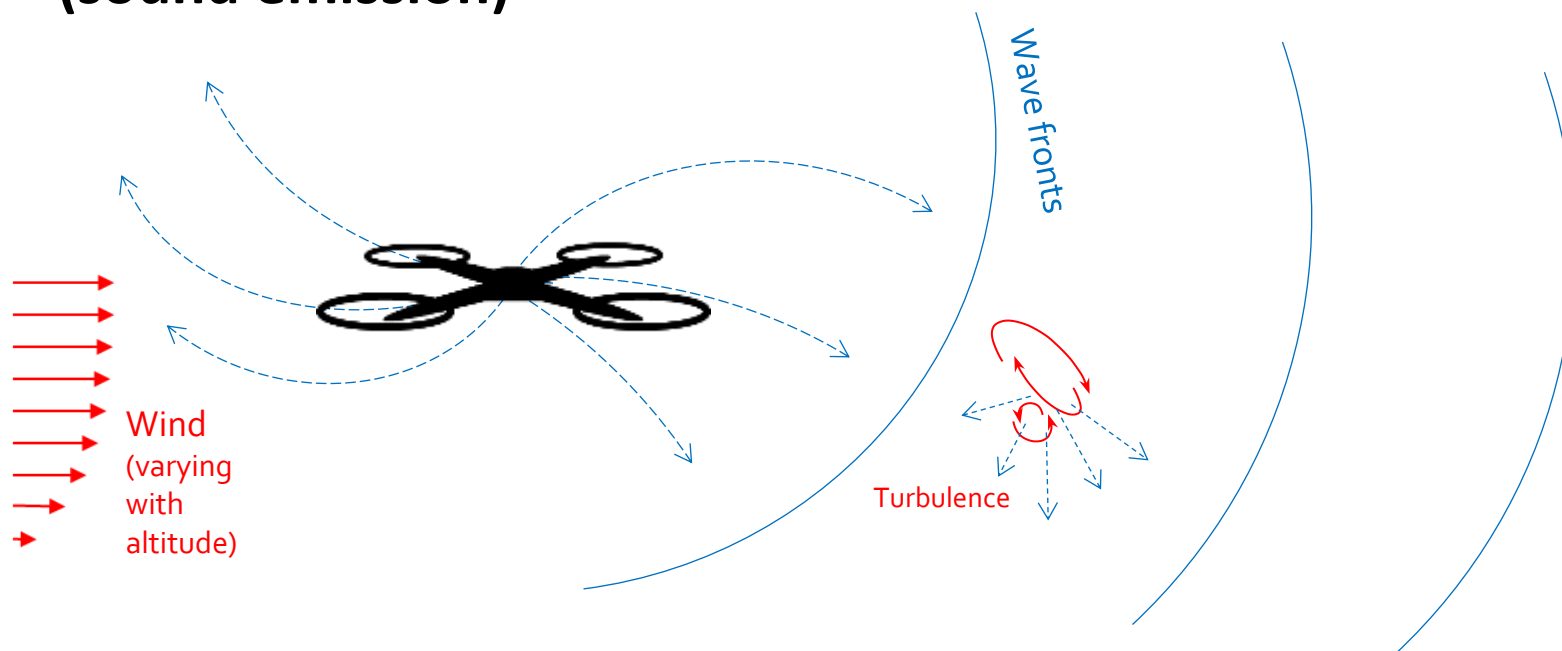
1. Allmänt om drönbuller - ny transportmod, acceptans kopplat till buller
2. Drönare som bullerkällor
3. Bullermätningar
- 4. Bullerkartering med exempel från Östersund**
5. Regelverk och riktlinjer
6. Frågor och svar

Air vehicle noise mapping. Principles for simulation method

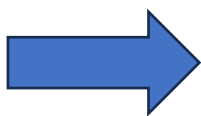
Sound source →
(sound emission)

sound propagation

→ sound immission
(reaching ground/people,...)



Sound source
model and time
discretised flight
trajectory



Sound propagation
model, spherical or
refractive spreading,
absorption – ground
and screening effects



Sound spectrum time
histories in ground grid
and
Noise contours in noise
metric wanted

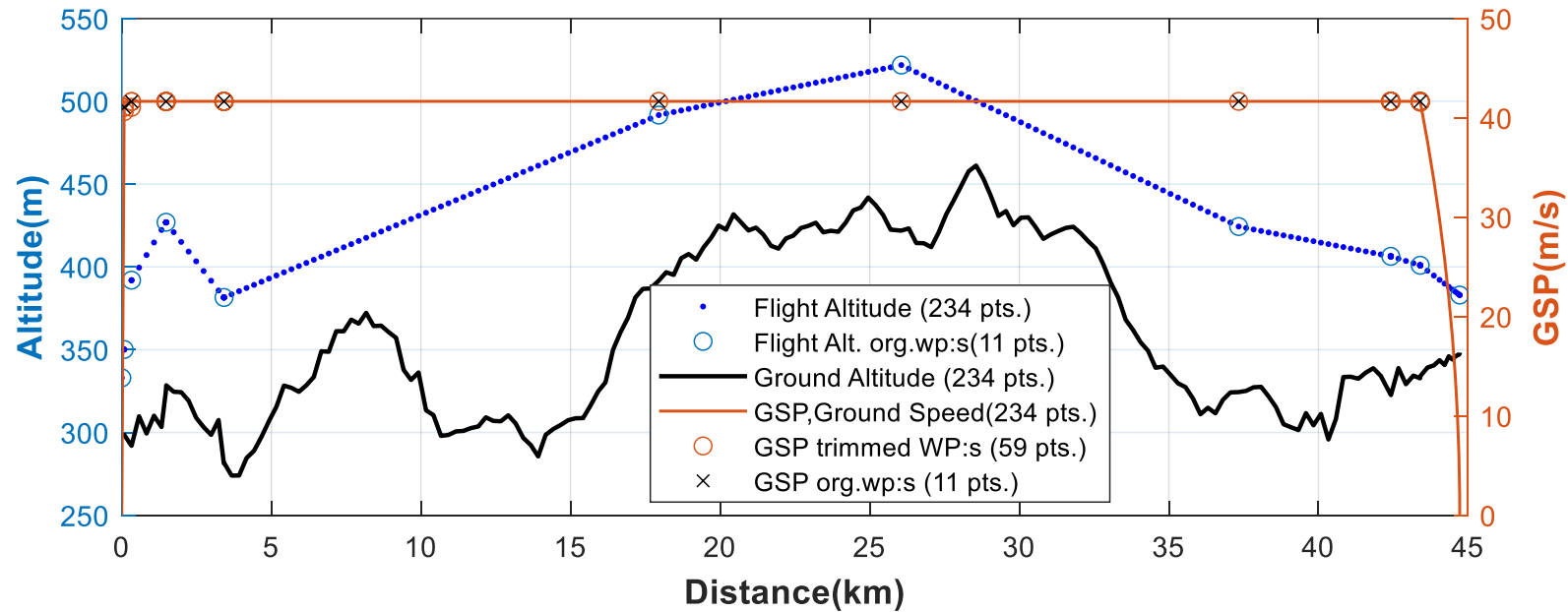


Further analysis ...

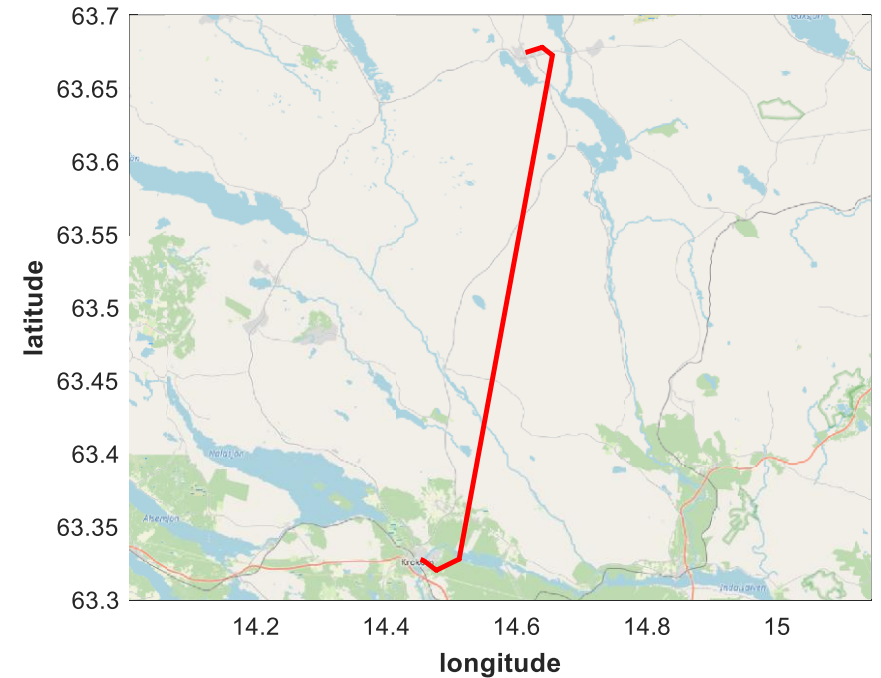
Akustikdoktorn
Sweden AB



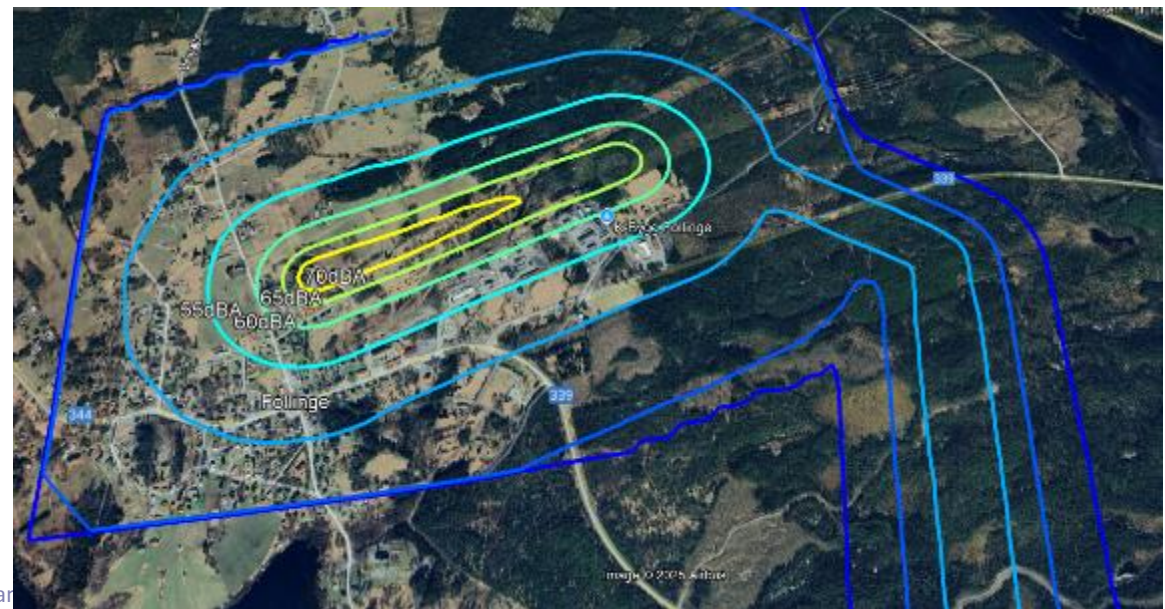
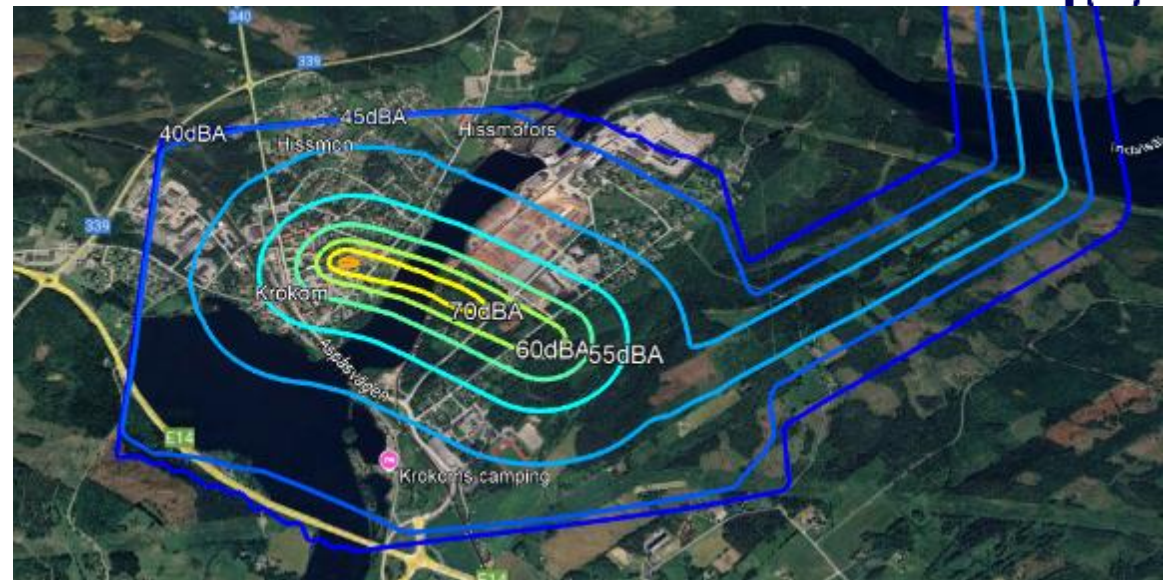
Krokom Föllinge: flygrutt



Flightpath SAFTu Jämtland
Duration: 19:37 min:sec Distance: 44.7 km Mean GSP: 137 km/h

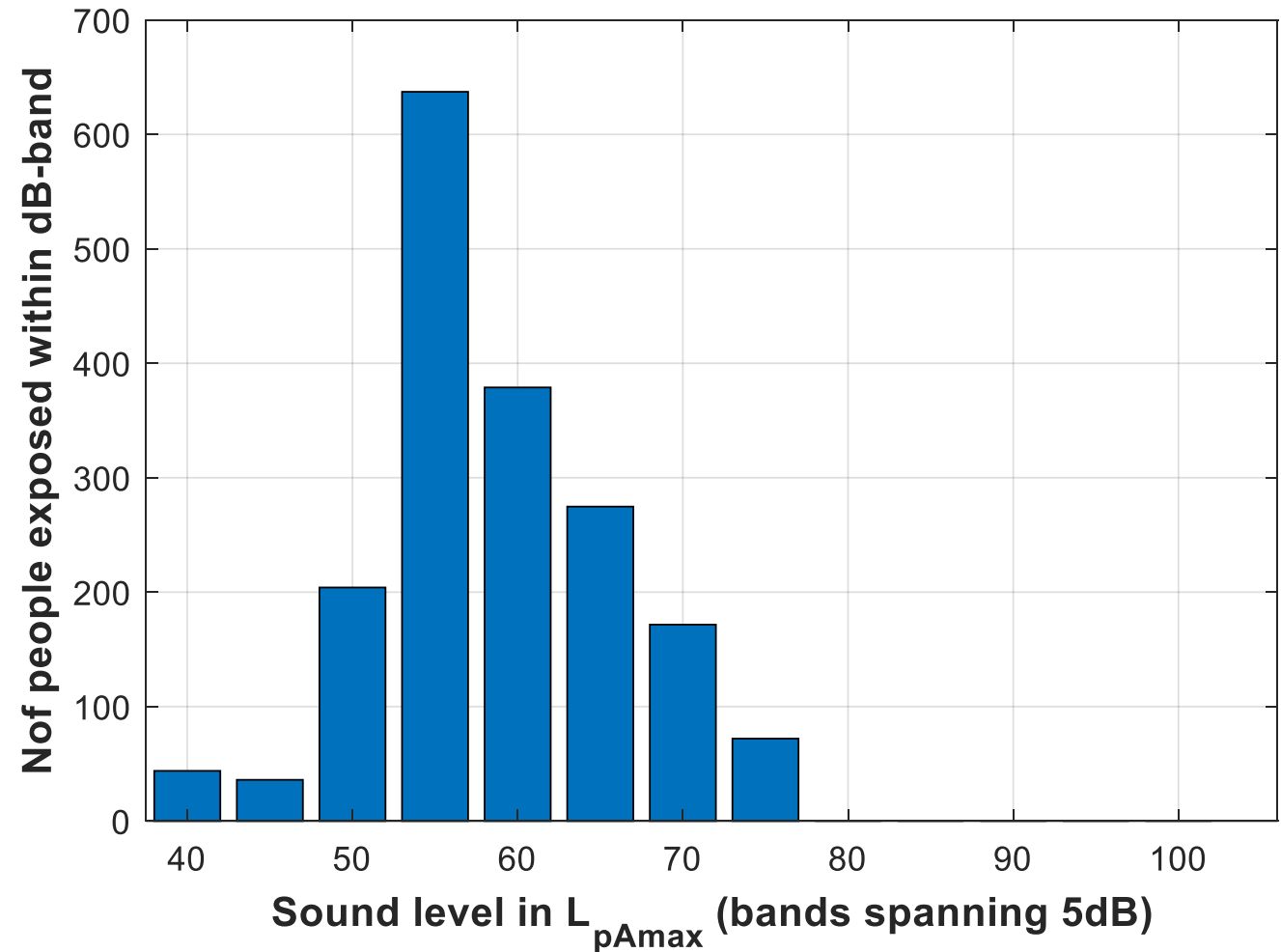


Bullerkartor: Krokoms Föllinge



AERO EDIH

Antal boende inom olika $L_{A, MAX}$ band





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 Anmälningsplikt 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 _{AS,max}
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.



Katlas 30 kg leveransdrönare med fasta vingar ca 100 m över mark:

- Vingmod relativt tyst: $L_{A, \max} \sim 50-55$ dBA
- Multikoptermode: $L_{A, \max} \sim 70-75$ dBA vid landning
- Flygvägen vid start och landning påverkar starkt antalet bullerutsatta (bullerstörda)
- 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 för flygplan för att återspegla den större irritation som drönare ger upphov till (Gwak et al 2020).



Frågor?



Outlook: Wannados 😊



- Inclusion of buildings (data from Open Street Map etc, diffraction/reflections).
- “Full” atmospheric effects on noise propagation: Refractive raytracing due to wind and temperature gradients.
- Improved source modelling support: Complex propulsion systems (tilting rotors, adjustable pitch).

Acknowledgements

The financial support from the Swedish Transport Administration (Trafikverket) is gratefully acknowledged.

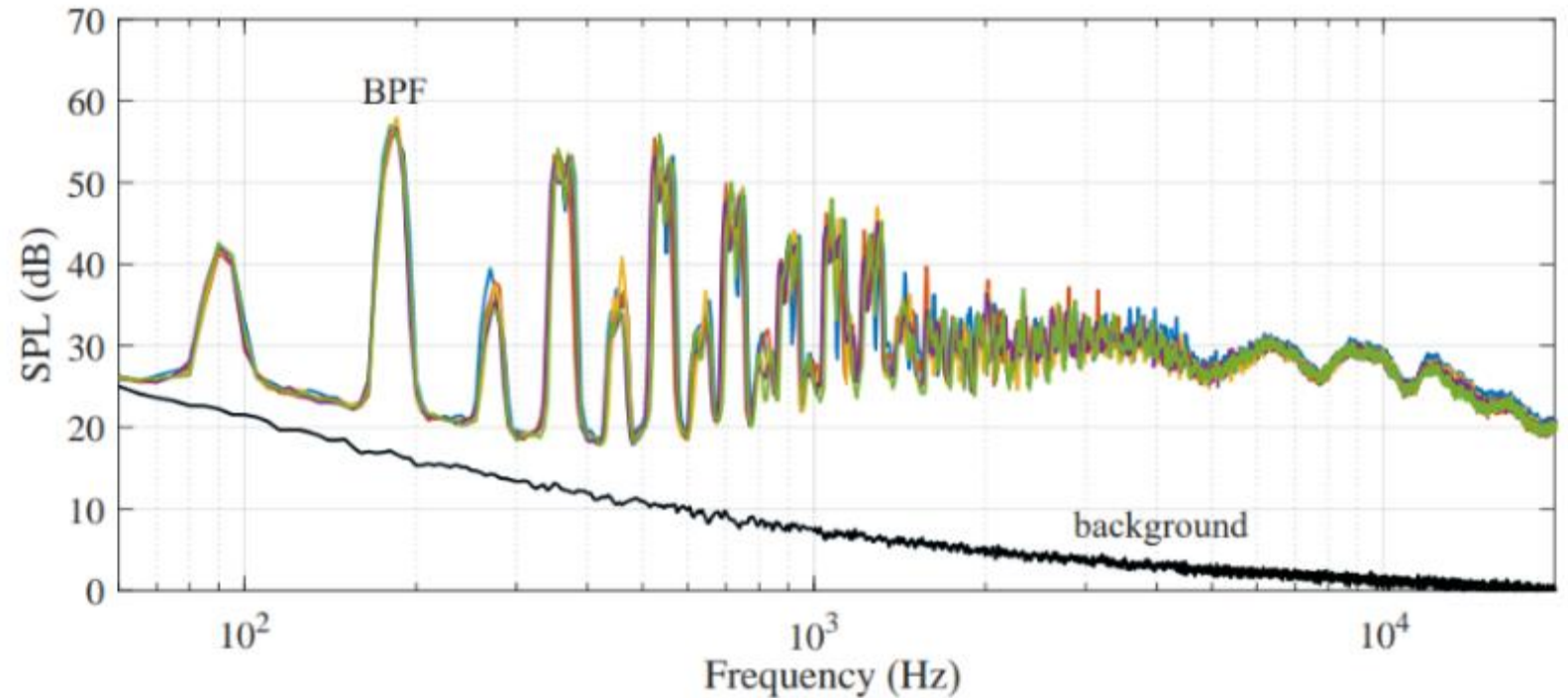
UAV source spectrum

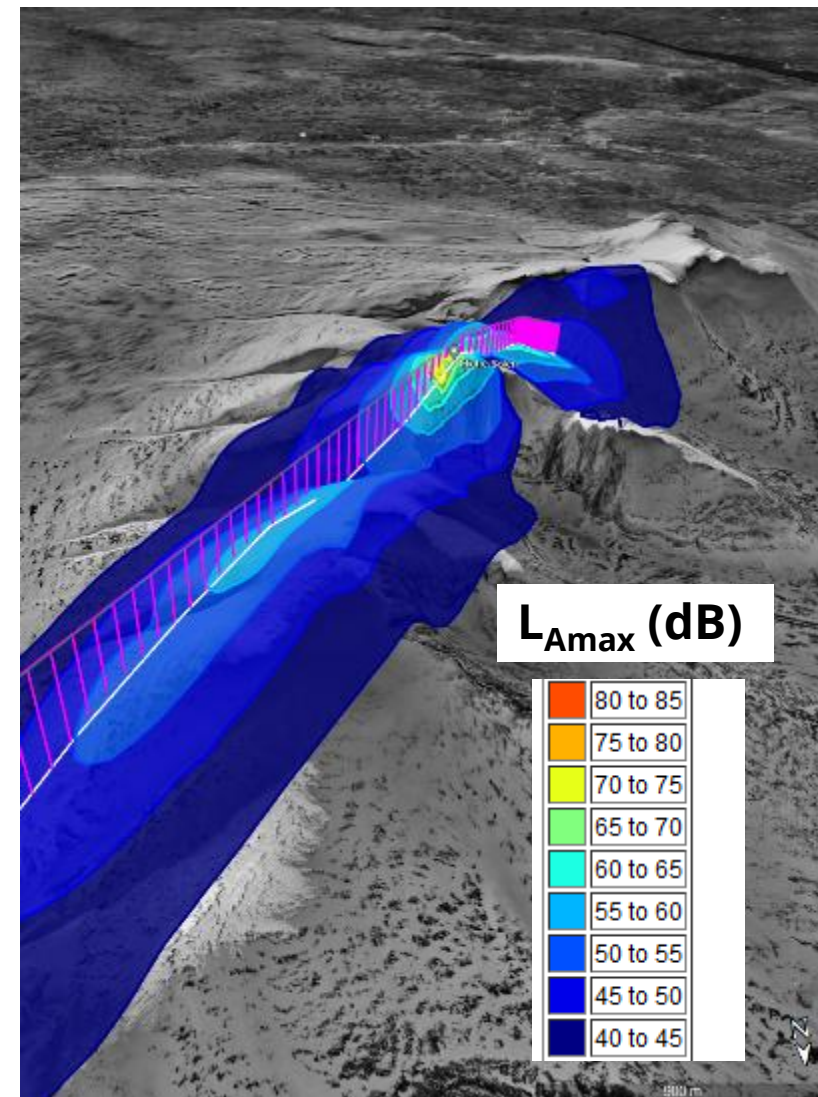
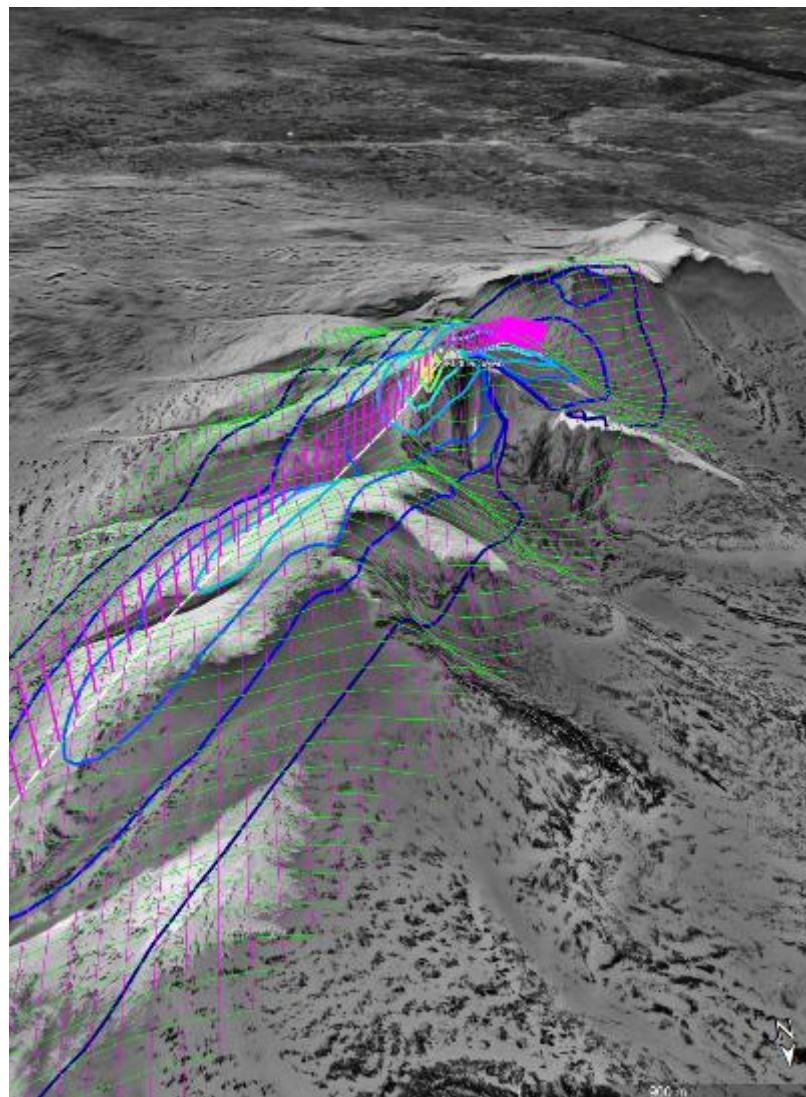
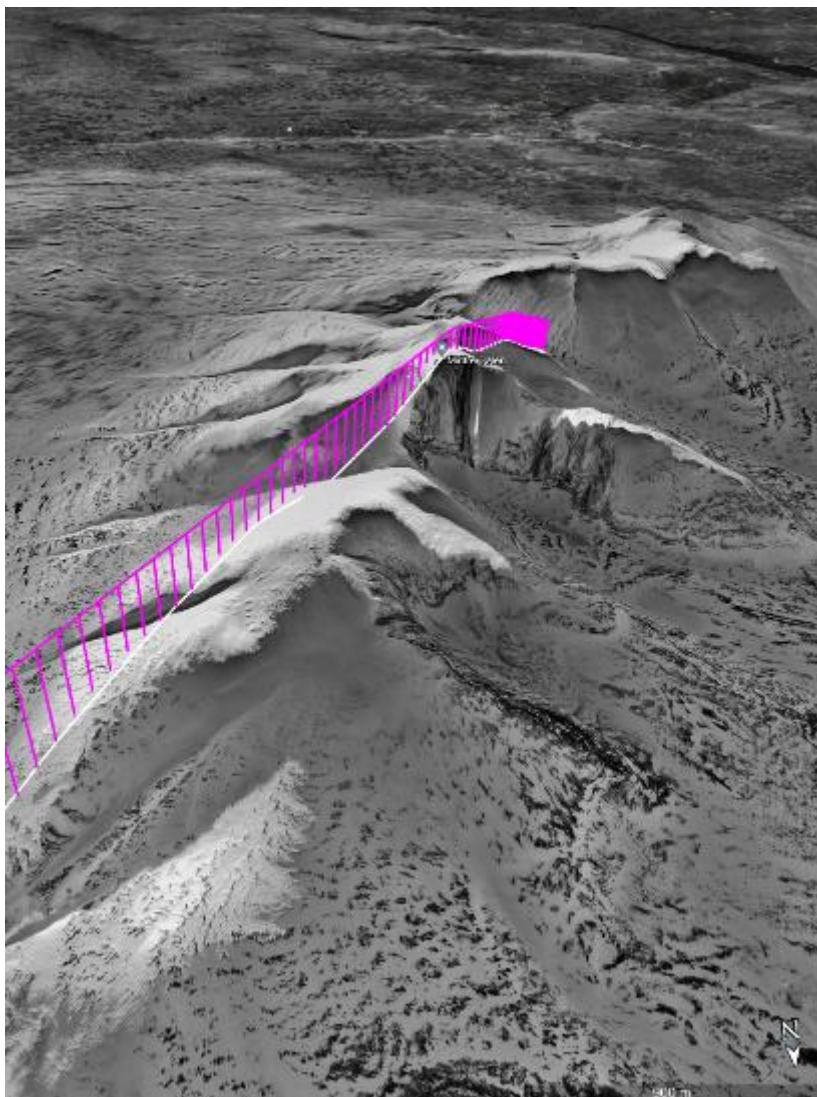


- Highly tonal spectrum



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





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.

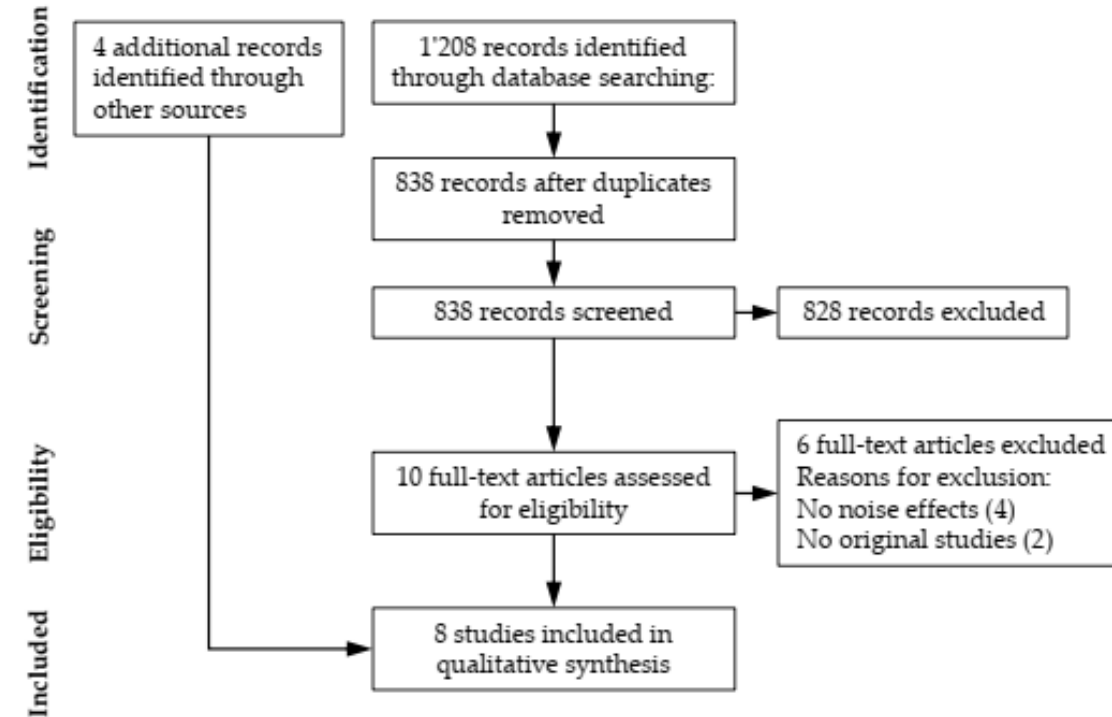


Figure 2. PRISMA flow diagram of the systematic review on noise effects of drones.

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)

