

CSA Projekt SAFT - Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omvärld

Slutrapport förstudie SAFT

Ulf Tengzelius 31 augusti 2016

Det hittills genomförda och pågående arbetet med projektet SAFT har beskrivits i ett antal dokument. Denna slutrapport avser dels att samla denna information och dels att uppdatera beskrivningen där kunskap eller former som påverkar kommande arbete har tillkommit. (Se avsnitt Aspekter på SAFT-projektet, tillkomna efter "Komplettering av Projektförslag SAFT" juni 2016 nedan).

Merparten av de tidigare dokument som beskriver målbilden och planerat arbete med SAFT bifogas i denna rapport. Dessa bilagor är:

Bilaga 1. Presentation "SAFT, Sammanfattning av projektplan" 2016-08-19

Bilaga 2. "Ansökan för projekt: SAFT - Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omvärld" TRV 2016/15206 - KTH forskningsanslag 2016, Centrum för hållbar luftfart , 2016-04-28

Bilaga 3. Komplettering av Projektförslag SAFT " Till TFV Portfölj 9-Luftfart 2016-06-23

Bilaga 4. Presentation BNAM juni 2016

Bilaga 5. Delrapport – Förstudie SAFT mars 2016.

Aspekter på SAFT-projektet, tillkomna efter "Komplettering av Projektförslag SAFT" juni 2016

Det planerade SAFT projektets struktur, förväntade arbetsinsatser och målsättning följer i allt väsentligt tidigare presenterade beskrivningar. Strategiska grepp som uppmärksammas under sommarens förberedelser är bland annat:

1) En implementering av ECAC doc.29¹ metodik och algoritmer, med tonvikt på enstaka flyghändelser samt etablering av användarvänlig in-/output och programkörning. Syftet här är främst att på sikt möjliggöra effektiva jämförelser av resultat från å ena sidan simulerings- å andra från integrerade metoder baserade på ANP-databasen. Men också att erbjuda möjligheter även för aktörer inom akademien att orientera sig om och smidigt kunna köra beräkningar med ett s.k. integrerat verktyg för flygbuller, liknande de som används operativt av Swedavia mfl.

2) Användning av Git² som versionshanterare för utvecklad SAFT-kod. Detta – kopplat till lämpligt "webbhotell" eller lokal minnesarea – avser att säkerställa såväl en effektiv utvecklingsmiljö för SAFT-koden med överblickbara bidrag från flera utvecklare samt backup och smidig tillgång till mjukvaran.

¹se referens i någon av bilagorna nedan

² <https://git-scm.com/>

3) Inom området "Samverkan och kunskapsspridning" är avsikten att direkt efter projektstart starta etableringen av en särskild SAFT-referensgrupp. Samverkan med andra intressenter har redan startats med deltagande inom Innovair³ samt genom mer informella kontakter med olika aktörer inom såväl akademi, näringsliv och myndigheter.

4) Vikten av flygbullermätningar kopplade till (tidskorrelerade) FDR-data står idag än tydligare. I denna fråga är samarbete dels planerat med systerprojektet Brantare men också med det ännu inte fullt ut finansierade ULLA. Förhoppningen är att ULLA, efter omarbetad ansökan och projektplan kommer att beviljas medel och kunna stötta SAFT med data.

För beskrivning av projektet se bilagor nedan.

³ <http://innovair.org/> alt. <http://www.vinnova.se/sv/Var-verksamhet/Gransoverskridande-samverkan/Samverkansprogram/Strategiska-innovationsomraden/Strategiska-innovationsprogram/Flygteknik/>

BILAGA 1. SAFT - Sammanfattning av projektplan 19 aug 2016



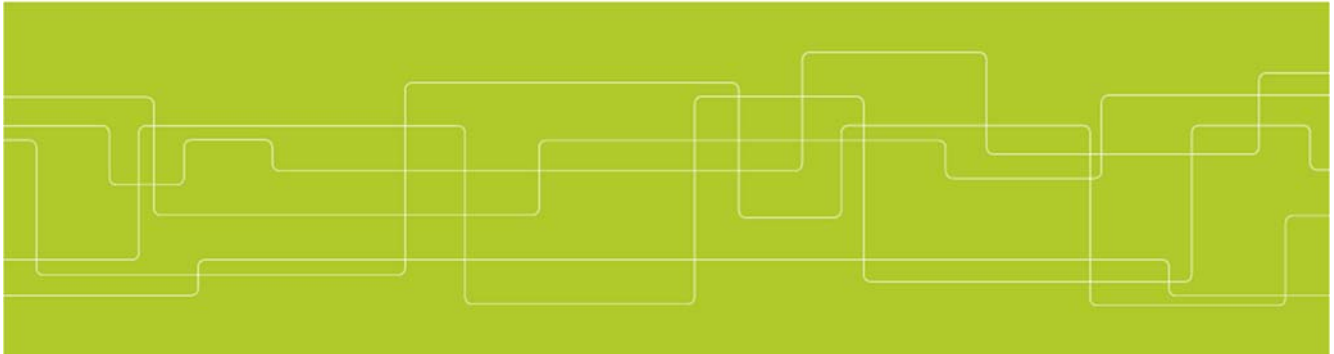
SAFT

KTH ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omgivning

Sammanfattning av projektplan 19 aug 2016

Ulf Tengzelius KTH-MWL



Innehåll

1. Bakgrund
2. Målsättning
3. Planerat arbete
4. Samverkan och Kunskapsspridning
5. Referenser



1. Bakgrund – flygbuller idag och i framtiden ...

- Flygtrafik i såväl Sverige som internationellt bedöms öka
- Förväntad ljudreduktion hos nya flygplan tenderar att plana ut
- Ökad insikt kring bullereffekters inverkan på människan har höjt engagemanget hos allmänheten och tillsynsmyndigheter



1. Nya åtgärder kommer att krävas för att klara av framtidens bullerkrav
2. Behov av att bättre förstå och simulera flygtrafik/ljudutbredning för att finna de effektivaste sätten att åstadkomma buller-/störningsreduktion med dagens och morgondagens flygtrafik

Bidrag till Lösning:

SAFT-verktyget, Studier-Analyser-Slutsatser-Åtgärder

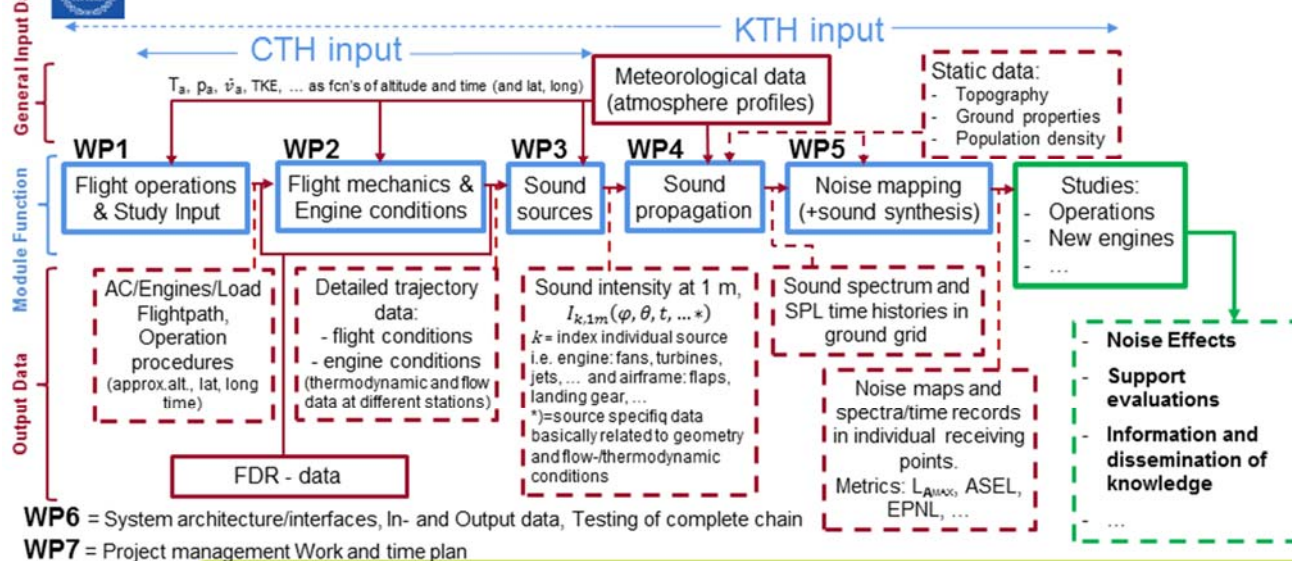


2. Målsättning med SAFT

- Etablera en svensk plattform, SAFT, för simulering av flygbuller (på en högre teknisk nivå och mer generellt än dagens s.k. integrerade metoder)
- Skapa möjlighet för studier av bullereffekter från existerande såväl som från nya procedurer/operationer/flygvägar/landningsbanor, nya eller modifierade flygplan och flygmotorer, samt väder-/atmosfärs-inverkan.
- Långsiktighet – stärka svensk forskning: Ett skelett/ramverk för implementering av metoder utvecklade på svenska högskolor och universitet
- Katalysator för att etablera och utveckla samarbeten samt generera kunskapsspridning inom flygmiljöområdet



3. Planerat arbete KTH-MWL och Chalmers (Tillämpad Mekanik, Fluid Dynamik)



SAFT – Sammanfattning av projektplan 19 aug 2016

5(7)



4. Samverkan och kunskapsspridning

- Förutom det samarbete som per automatik sker inom SAFT och med övriga CSAprojekt, avses samverkan etableras med andra aktörer och intressenter inom flygmiljöområdet.
- Ett steg i denna riktning är skapandet av en särskild SAFT-referensgrupp.
- Givna samtalspartners, verksamhetsutövare, avnämare och rådgivare utgörs bl.a. av Swedavia, svenska myndigheter inom och utanför CSA samt det svenska och det internationella forskningssamhället.
- För att stärka kunskapsspridning planeras workshops och deltagande i konferenser.
- Presentationer av SAFT 2016, genomförda och planerade:
 - (maj) Seminarium KTH-MWL
 - (maj) Vinnova – Innovair möte
 - (juni) BNAM-Nordic Baltic Acoustic Meeting, Stockholm
 - (sept) Innovair – Årskonferens Innovair, Trollhättan
 - (okt) Aerospace Technology Congress, Solna
 - (okt) CSAWorkshop
- För ett lyckat genomförande av SAFT är det kritiskt att kombinerade tidskorrelerade mätdata: flygplansposition - flyg-/motortillstånd (i FDR-data) samt ljudmätningar på marken, görs tillgängliga för SAFT. T.ex. genom det föreslagna projektet ULLA.

SAFT – Sammanfattning av projektplan 19 aug 2016

6(7)



Referenser:

- 1) Ansökan för projekt: SAFT - Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omvärld
(till TRV 2016/15206 - KTH forskningsanslag 2016, Centrum för hållbar luftfart).
Mats Åbom, Ulf Tengzelius
- 2) Komplettering av Projektförslag SAFT
(till TFV Portfölj 9-Luftfart Marie Fridolin Johan Holmér 2016-06-23 "Rörande Projekt SAFT")
Mats Åbom, Ulf Tengzelius
- 3) Presentation BNAM Juni 2016: "SAFT (Simulation of Atmosphere and air traffic For a quieter environmenT)
Ulf Tengzelius
- 4) Presentation CSAförstudie SAFT delrapport 2016-03-21
Ulf Tengzelius

BILAGA 2.

Ansökan för projekt: SAFT - Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omvärld

TRV 2016/15206 - KTH forskningsanslag 2016, Centrum för hållbar luftfart

Till: diariet.borlange@trafikverket.se

Från: KTH-MWL Mats Åbom

matsabom@kth.se

tel. 08-790 79 44

Ämne: TRV 2016/15206 ANSÖKAN CSA

Ansökan för projekt:

SAFT - Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omvärld

Projekttitel: SAFT - Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omvärld
(Simulation of Atmosphere and air traffic For a quieter environment)

Huvudsökande (KTH):

Projektledare Professor Mats Åbom
Forskare: Ulf Tengzelius, Ilkka Karasalo
The Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration Research
Department of Aeronautical and Vehicle Engineering
KTH, Royal Institute of Technology
SE-100 44 Stockholm
Phone: +46-8-7907944
Email: matsabom@kth.se

Medsökande (CTH):

Professor Tomas Grönstedt, TeknD Fakhre Ali
Applied Mechanics, Fluid Dynamics
Chalmers University of Technology
SE - 412 96 Göteborg, Sweden

Summary

In the research project SAFT it is proposed to establish a computational platform which allows for the simulation of noise exposure on ground from air traffic, taking into account the complete chain: *type of aircraft/engine, trajectory, aircraft-/engine condition, noise generation and sound propagation in the given weather condition.*

Through future studies with the SAFT-tool it is anticipated that adequate means for noise mitigation could be identified. This could be through studies on existing aircraft/air traffic and procedures as well as on future engine/airframe technology or forecasted partly replaced aircraft fleet and their movements.

The SAFT tool is primarily intended to form a complement to today's so called "integrated methods", but will go far beyond those methods when it comes to functionality. Central differences between a "physics based" simulation tool like SAFT and an integrated tool is that the latter do not allow for a separation between the individual sound sources on an aircraft, it is neither able to separate the source at one hand, and the sound propagation on the other, and it do not include any frequency information. While integrated tools primarily focus on long term noise patterns, typically total yearly air traffic, simulation tools like the planned SAFT are far better suited for single-event studies of new procedures, new engines etc.

Another strength is the possibility to include local atmospheric/weather effects in sound predictions. This option can be used for finding patterns over longer time periods, but also for noise forecasts equivalent of today's weather forecasts - that is, "Almost real-time forecasting" - which could be used for trajectory optimisation or as input for ATM decisions on runway use at larger airports with multiple runways.

The simulation tool SAFT will mainly consist of new computational code blocks and modules, but some existing programs will be used as well.

Bilaga A(+E)

Description of work SAFT - Simulation of Atmosphere and air traffic For a quieter environment

Purpose and aims

The research project SAFT aims at the development of a computation and simulation tool for aircraft noise. The tool is intended to take into account all the elements in an *aircraft type/engine* and *the operation* of it, along with *the atmospheric conditions* (weather) at the time for the flight, *which effects the resulting noise on ground* (1).

SAFT may, as yet, be seen as a complement to the so-called "Integrated tools/methods", like INM (2) and ECAC Doc.29 (3) , and as such a complement that goes beyond the capabilities of those. The integrated methods are, despite their well-known limitations such as dissolving effects of individual variations in flight operations and aircraft/engine design, able to fulfill their purpose to visualize and quantify noise exposure from an operational activity over longer periods of time (1 year) and to identify trends.

If the focus of planned studies instead are on noise effects of *new approach and take-off procedures, new or modified aircraft engines or configurations, special or typical weather situations*, the integrated methods have serious limitations. In these situations, one need to decouple the noise sources from the sound propagation, as well as separate the different noise sources (such as "jet noise", "fan noise" and "landing gear" etc.). Furthermore, one needs to resolve the frequency content, both in order to carry out the sound propagation accurate enough, but also to assess the degree of disturbance when the sound reaches receivers on the ground. The described type of studies could though be possible with the SAFT tool. SAFT could further on, also be used for *"noise forecasts" like today's weather forecasts, or for noise calculations in "almost" real time*, partly based on atmospheric data recorded by the aircraft themselves. Studies of the mentioned types could in turn be part of *noise mitigation studies, studies related to construction of new runways (including a partly replaced aircraft fleet), building of new residential areas* in the vicinity of airports etc.

Moreover, by establishing a "physics based" simulation platform like SAFT we also aim to support Swedish aircraft noise research in the long term by providing a framework in which successful research in the field and newly developed techniques can be implemented and utilized.

Simulation tools – background and survey of the field

Integrated methods and input data versus simulation methods

When "integrated tools" were introduced for noise mapping in the 80s (first INM version came in 1978, first ECAC Doc.29 published in 1986, was initiated in 1982) one had to restrict computational complexity and data amounts in every possible way due to the limited computer performance and data capacity at that time. The methodology, which is based on reduced/integrated source and sound propagation data, was developed according to this situation. Databases, linked to aircraft certification measurements, well suited to the integrated methods and giving "just enough" information for those, were established (today found in the ANP - Aircraft Noise and Performance - database with the NPD - Noise Power Distance - data). This situation, including the relative ease with which calculations may be carried out, probably paved the way for this common and transparent way to handle aircraft noise estimations for airports – today often linked with regulations. Though, as a side-effect, it may also have contributed to the current monopoly-like situation, with an understandable unwillingness to change and complicate the governing situation, which in turn reduces the possibilities for simulation-tools to be developed. A natural reason behind the rather limited availability of more detailed noise data within

open sources is of course also the reluctance to disclose commercial secrets within the aviation industry, probably most pronounced among engine manufacturers. Despite this, reversed engineering together with open sources data tend to be sufficient to accomplish most needs for a simulation tool today.

In this context it is interesting to note that in ECAC Doc.29 from 2005 it is expressed that simulation methods in the future may be used not only as a research tools, but also as replacements for integrated approaches:

- a) *“integrated models represent current best practice”* [referring to longtime averages] and
- b) *“This situation [i.e., that simulation methods is also used for long-term noise mapping] may change at some point in the future: ‘simulation’ models have greater potential and it is only a shortage of the comprehensive data they Require, and their higher demands on computing capacity, that presently restrict them to special applications (including research).”*

Great efforts with regard to "simulation tools" of the type we outline here, were put in already in the late 70's and early 80's at NASA in the calculation tool ANOPP (4). Several other national approaches in the same spirit have been added to the list of simulation tools since then. But, it is only in recent years, when the computing and storage capacity do not any longer constitute a real obstacle, we have seen a broader and more intensive development of this kind of codes. Among these initiatives are:

A renewed effort put into an ANOPP2 (5) and the commercial code SOPRANO from the company Anotec in Spain. This last code was recently used in the Clean Sky project ARMONEA (6). ONERA and NLR have attached great importance to reproduction and synthesizing of sound from noise events/air passages in their codes CARMEN (7) and VCNS (8) respectively. University of Manchester seem to have come a long way with their code FLIGHT (9) as well as DLR with their PANAMA (10). The Swiss research institute EMPA has previously developed the code FLULA (11) - which involved estimated frequency- and directivity dependent noise sources for different types of aircraft - and has now taken the step of individually separated noise sources including weather effects in their new code SONAIR (12).

In the table below we show our view on differences between Simulation- and Integrated methods respectively.

	Simulation tools	Integrated tools
Typical application	Single event operations	Combined fleet, yearly mean
Sound source	Separated from propagation Semi-empirical, physics-based Frequency and space resolved	Merged with propagation Measured No spectral and directivity info available
Source data availability	Limited open data available	Very good OASPL data found in the open ANP-database (Noise-Power-Distance, NPD-data)
Sound propagation	Yes - separated from sound source	No - not separated from source
Studies of noise abatement flight procedures	Yes - Possible to simulate	No - or very limited possibilities
Time history for noise events	Yes - Possible to simulate (as well as listening tests based on these)	No – not possible to extract
Atmosphere impact	Yes - Possible to include	No - not included (ANP/NPD data established under certain “standard atm. conditions”)
New technology studies	Yes – possible to simulate new aircraft or engine concepts	No – not possible to include
Computational time	Computationally more “heavy”	Computationally fast

Table 1. Summary of Simulation versus Integrated tools *pros* and *cons*.

Trends in air traffic and aircraft noise situation

A look at trends in Swedish (as well as European and global) air traffic compared with the expected achievements for the noise reduction through new aircraft technology imply a strong need also for alternative noise measures. Over a time span of more than 50 years, we have experienced a substantially increased air traffic. This increase is judged to continue in the foreseeable future.

Antal flygpassagerare i Sverige per år, 1974-2014 (källa: Trafikanalys)

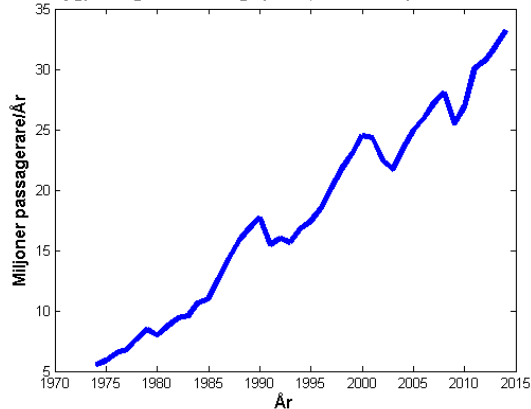


Figure 1. N. of flight passengers in Sweden 1974-2014

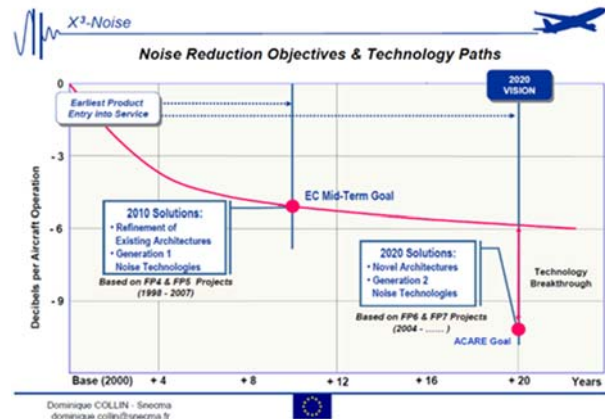


Figure 2. X3-noise - Aims for reduction at source

The Swedish Transport Administration predicts a growth of about 3.5% per year (13) and the government agency Transport Analysis (14) presented the statistics shown in Figure 1 above. Though, a relieving effect with regard to the trend of noise exposure has been the renewed aircraft fleet. In Germany, for example, the number of passengers has increased by 168% between 1991 and 2014, but the number of flight movements only by 57% (15) due to the partly exchanged of fleet – in general equipped with more silent technology. Figure 2 (from 2010) we see the forecasted “reduction of noise at the source” and that the expected dB-gain tend to flatten out without technological breakthroughs⁴ (16), (17). With a lifecycle of a typical aircraft of 20 years or more it would take quite some time to reach a significant alleviation compared with today’s situation even with “revolutionary technologies”. In order to have the chance to achieve more noise reduction than what we can expect from “Reduction of Noise at the source”, i.e. the first of four principal ways to assess noise reduction in ICAO’s so called “Balanced Approach” stated in 2001 (18), we need to focus strongly on the third way of the “Balanced Approach” as well. See Figure 3 below.

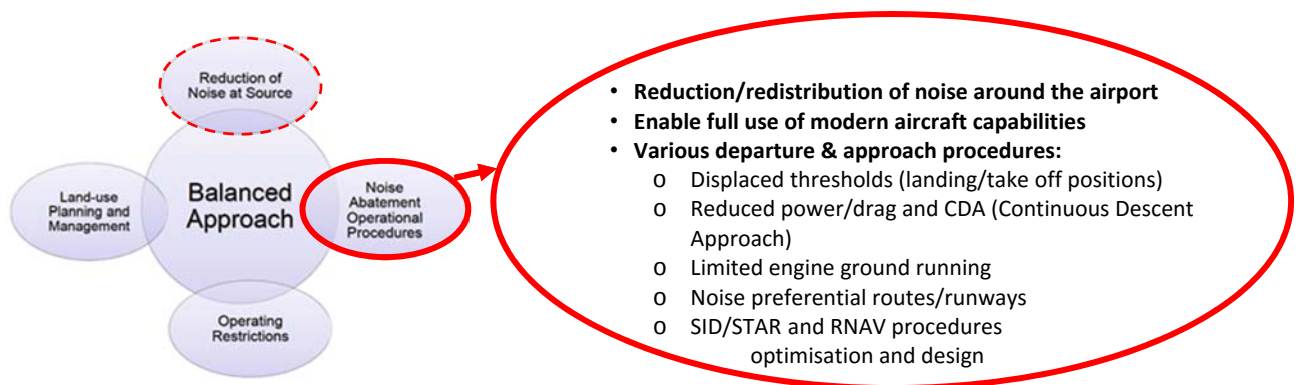


Figure 3. ICAO's Balanced Approach (19)

⁴ Up to now we may interpret the Pratt & Whitney PW1000G-series as the one and only breakthrough of this kind. Comparing Airbus A320 certification data for the A320neo equipped with PW1127G-JM with other lately produced aero engines, reveal a mean gain of around 3 dB EPNL in each certification point – ca 4.5 dB in lateral point, and around 2-2.5 dB in flyover and approach points (i.e. at least a step of ca 3 dB compared with the ACARE-goals of 10 dB).

Project description

Outline research plan and methods

The SAFT project will stretch over several disciplines and functional blocks. With this situation follows that the overall data flow, and the interfaces between the blocks, has an equally important role as the individual functional blocks themselves. In order to identify eventual gaps and shortcomings in the draft plans an “upside-down” approach will be taken in the sense that the initial goal will be to establish a “beta draft tool” with focus on the dataflow through the complete chain, trajectory to noise map, but with rather low initial demands on accuracy in the individual blocks or for the entire system. The draft SAFT architecture is outlined in Figure 4 and Figure 5 below. First the work packages (WP)/functional blocks together with the related foreseen input and output flow in Figure 4:

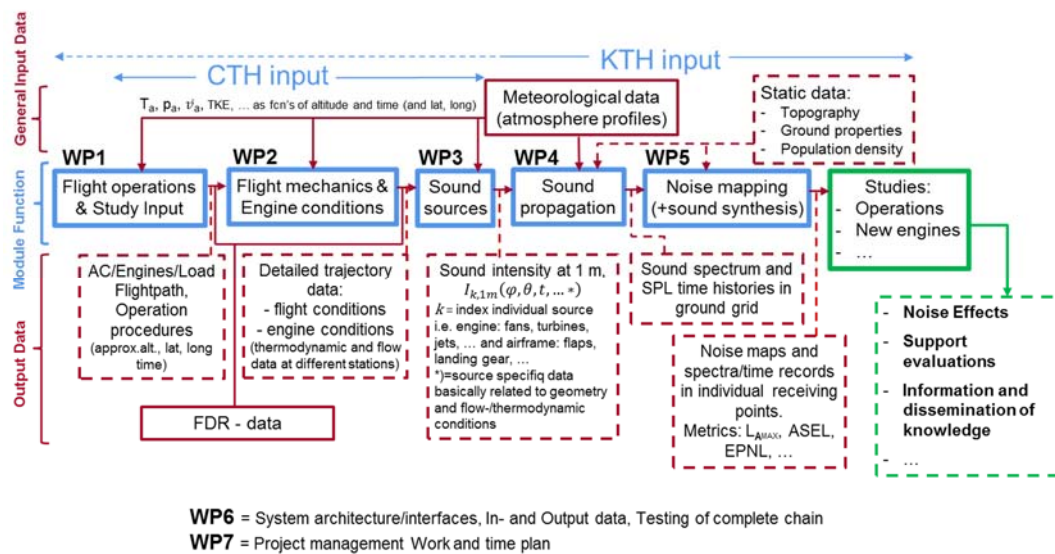


Figure 4. Overview functional blocks + input/output

Next, before going to the presentations of approach for the individual functional blocks/WP's, an overview of the preliminary tools/methods these different parts will rely on, is shown in Figure 5 below. Methods are shown in dashed blue boxes, --, and the related module/functional block are also here shown in blue solid line boxes --:

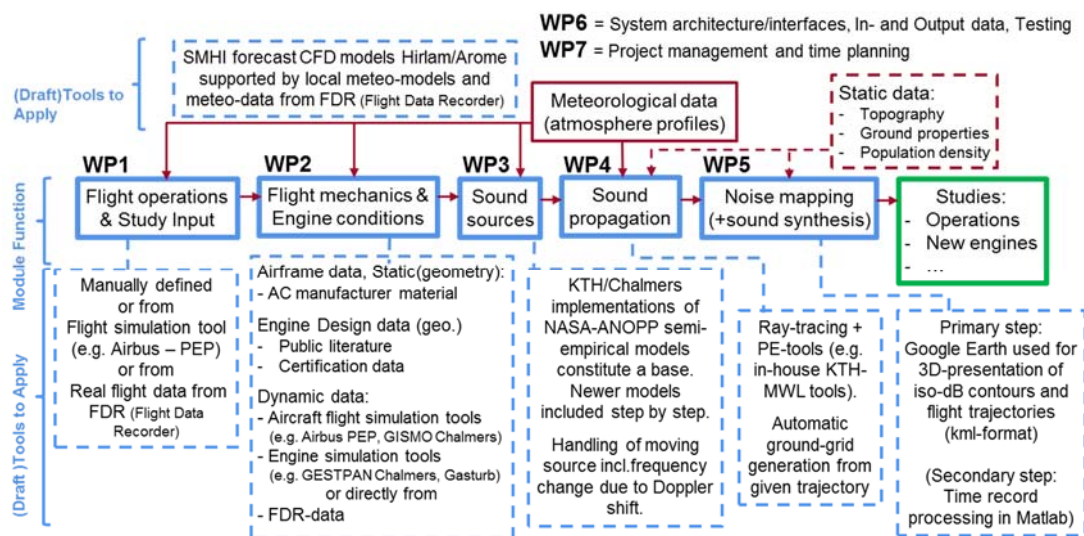


Figure 5. Overview functional blocks + respective supporting methods/tools

The project is planned to last for 2 years and will be a cooperation between KTH-MWL (Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration) and CTH Turbomachinery and Aeroacoustics. KTH-MWL is project leader and as indicated in Figure 4 the CTH responsibility is offset towards flight/engine systems while the KTH responsibility is more directed to noise related matters, though both partners are involved in the complete computational chain.

As one of the initial steps in SAFT an existing aircraft type, representative for operations at the main Swedish airports, will be selected. This in order to be a test-case and the first aircraft/engine combination to be fully modelled in SAFT. This choice of aircraft will fall either on some model from the Boeing737NG series or on an Airbus A321.

It should be noted that during this 2 year development phase of SAFT there will be no extra effort spent on establishment of a catalogue or database of several aircraft models able to run. Such actions are foreseen to be taken in combination with future studies with SAFT where a step by step extension of the number of aircraft/engine models can be foreseen. Expected during this 2 year project is to stay at one, or at the most, a few aircraft models.

The principle of "Noise Forecasts" that is planned to be realizable with SAFT have its roots in a shooting noise tool based on ray tracing that employees at KTH-MWL have developed for FMV and the Swedish Armed Forces. This tool is today used on a daily bases at two of Sweden's largest military shooting ranges (20).

Flight operations and Study input – Work Package 1

Responsible: KTH

Duration: 6 months

Man months: KTH 2, CTH 1

In this initial functional block the user of SAFT is to decide the general input for the computation:

1. Which aircraft model is to be studied (A321/V2500, ...)
2. The flight mission and type of operation is defined at a high level.

At least two different paths for the input and data flow down to sound source input can be foreseen here:

- a) Trajectory input to manually given by the user.

E.g. take off, approach, landing, - or only a short section or one trajectory point of one of these - landing gear in or out, curved flight, ... etc. Could include exact or approximate trajectory coordinates (x,y,z in a Cartesian coordinate system or latitude, longitude and altitude).

- b) Trajectory – coordinates + detailed flight condition data – given by FDR data

3. Type of computation and wanted output (draft choices below)

- a. Refractive atmosphere/non-refractive (straight rays)

- b. Wanted output and metric(s):

- i. Noise map (grid) or limited receiving points (time record)

- ii. Noise maps of L_{Amax} only (time records not computed)

- iii. Noise maps of L_{Amax} , SEL, EPNL, ...

- iv. Population within noise bands [implementation subject to the available time and resources]

- v. (to be defined) ...

4. Ground receiving grid

- a. Resolution and extension

- b. Receiver height

5. Meteorological input

- a. From standard/sample library without TKE⁵ (choice for non-refractive atm.)
 - b. From standard/sample library with TKE (choice for refractive atm.)
 - c. From FDR-data (choice for non-refractive atm.)
 - d. (to be defined: from balloon sounding or else ...)
6. Static data use
- a. Ground – hard ground/ground type classification and impedance model
 - b. Population model [implementation subject to the available time and resources]

Essential support to the specification of the SAFT-tool needs and requirements will be given by Novair (Henrik Ekstrand). Contribution will be given as well from the KTH initiated CSA applications Brantare (21) and ULLA (22).

Flight mechanics & Engine conditions – Work Package 2

Responsible: CTH

Duration: 18 months

Man months: CTH 6.5

The scope of this work package is to take the input from work package 1, “Flight operations and study input”, trajectory input specifications through a number of modelling steps:

1. For a given engine architecture and modelling definition predict engine performance for a number of operating points.
2. Assess the combined engine and aircraft performance allowing to establish the necessary input for computing the noise sources to be specified under work package 3.

Engine modelling

To develop characteristics for a selected engine a number of generic steps can be isolated:

- Collect public data of engine. This can correspond to data released by the engine manufacturer (23). For instance the engine architecture (two spool/three spool/geared), and performance data such as thrust and SFC in cruise and take-off conditions.
- Estimates on the technology level available at the time of the engine entry into service will have to be defined. This entails defining turbomachinery efficiencies, material capabilities and metallurgical limits, cooling technology, aerodynamic design limits.
- Complement the technology estimates with data made available in engine certification tests (if the engine is an existing engine and not a future concept)
- Implement compiled data to model the engine in a 1D engine performance tool (a schematic of typical turbofan model is presented in Figure 6 for demonstration purpose only). Here, the Chalmers in-house tool GESTPAN (GEneral Stationary and Transient Propulsion ANALysis) (24) will be used to acquire thermodynamic cycle performance data corresponding to the selected engine model. The GESTPAN tools has been developed over the last two decades in a number of national and EU research programmes.
- To match the engine with the available data (collected through public domain) the model has to be executed both in design (frequently top of climb operating point) and a number of off-design points (take-off, cutback, cruise, approach, ground idle, top of descent etc.). To set up a reliable and accurate model it is usually quite important to balance input from a number of sources and operating conditions.
- Interact with aircraft model either linked or through tabulated data based on stand-alone simulations.

⁵ Turbulent Kinetic Energy – needed input for sound-shadow propagation model, computed and given in e.g. SMHI-forecast data

- Use thrust input from aircraft modelling and performance model together with a conceptual engine design to establish necessary data needed for noise modelling. This frequently requires resolving flows in the engine to define local flow speeds such as Mach numbers and blade speeds of turbomachinery components. Jet velocities and turbomachinery blade speeds.

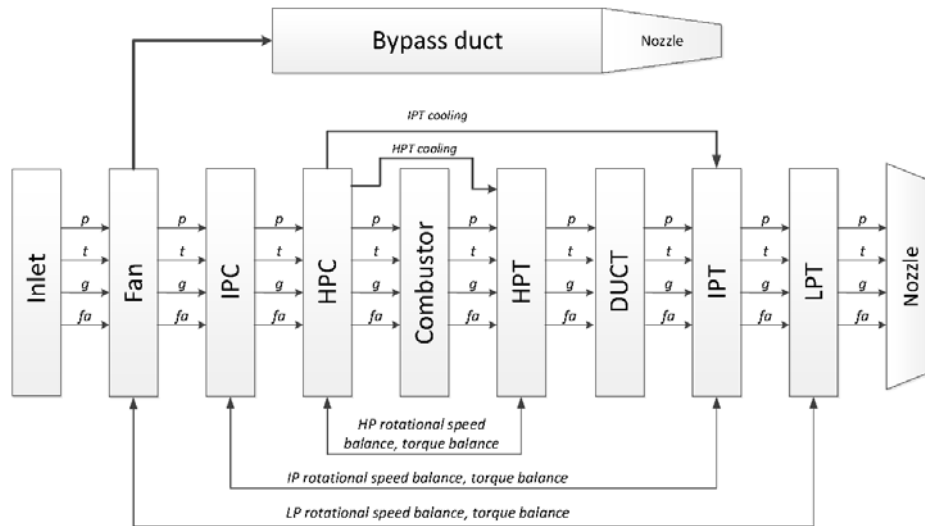


Figure 6. Illustration of a typical Turbofan component model schematic

Aircraft modelling

- Collect weight and geometric data of aircraft configuration to establish the aircraft performance in a number of mission segments defining lift and drag estimates as dependent on the current configuration of the vehicle (clean, flaps settings, landing gear down etc.)
- Use “Flight operations and study input”- data from work package 1 to define the trajectory simulations.
- Use tabulated engine data or linked aircraft engine configurations to perform simulations generating the input for evaluating the noise sources.

WP2 output supporting M1: Demonstrate an initial coupled A321 /V2500 aircraft engine modeling environment, providing necessary input for evaluating the noise sources in WP3. This milestone targets an initial evaluation for an approach condition.

WP2 output supporting M2: Validated A321/V2500 modeling providing necessary input for noise sources in WP3 covering all significant flight phases of a typical mission.

Here Novair (Henrik Ekstrand) is planned to be a contributor of input FDR-data.

Sound sources – Work Package 3

Responsible: CTH

Duration: 18 months

Man months: CTH 6.5, KTH 2

Our approach here is to start out from the set of semi-empirical noise sources given in different ANOPP references (25) and prepare for future step-by-step implementations of new or further developed noise-source models found in the literature. This holds for engine related noise sources as well as for airframe noise sources. An upper level architectural representation of the intended integrated aircraft-engine system level source model is presented in Figure 6 respectively.

- The selected aircraft and engine configuration (defined in WP1) will be modelled, operating under representative operational conditions (defined in WP1/FDR data).
- The sound pressure level corresponding to various aircraft and engine component level (Fan, compressor, combustor, turbine, jet, landing gear, airframe, etc.) will be derived and verified with trends acquired based on the theory.
- All noise sources will have directivity resolved in lateral and longitudinal direction as well as in frequency and time. The frequency resolution will be in 1/3-octaves and the span 50 Hz – 10 kHz. For narrow band (tonal) sources, e.g. parts of fan noise, special handling has to be facilitated throughout the computational platform.
- Furthermore, the model will be deployed to make total noise level predictions (Effective Perceived Noise Level - EPNL) corresponding to the three certification points (Lateral, Flyover and approach defined by ICAO) and the acquired predictions will be benchmarked against the noise level measurements provided by the ICAO data.

The WP3 output will support the detailed sound propagation studies that will be carried out in WP4.

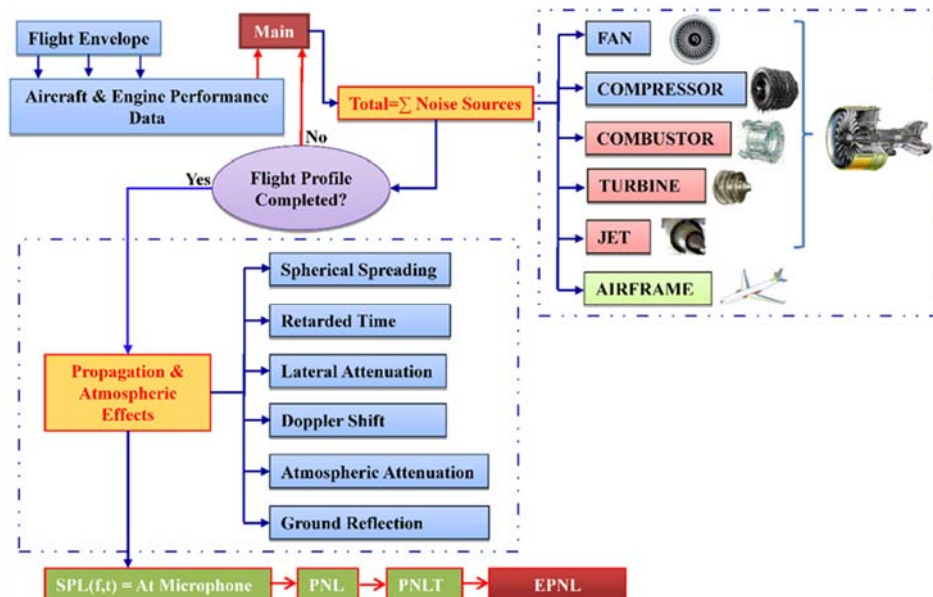


Figure 7. An upper level architectural representation of the intended integrated aircraft-engine system level source model

For the validation of sound sources FDR-data is planned to be used together with time correlated sound measurement data. The FDR-data is to be delivered by Novair (Henrik Ekstrand) while measured noise data will come from ULLA.

Sound propagation – Work package 4

Responsible: KTH

Duration: 18 months

Man months: KTH 10

Based on the pre-study SAFT (1) the first choice of sound propagation method to select, further develop and fit to the specific needs for air traffic, will be of the ray-tracing type (26). Field methods, such as PE-based ones, might as well be used, but probably more for validation purposes than to be run by the end user of the SAFT-code (27). The main reasons for this preliminary decision are: a) the relative simplicity to couple a ray-tracing algorithm to a directive and frequency dependent source; b) the computational speed and c) the possibility to apply an (semi-empirical) analytical approach for refraction/diffraction of sound energy into acoustic-shadow zones (28), (29).

The strong demands on computational efficiency are based on several factors:

- Relatively high spatial, time- and frequency resolution are needed for the source.
- The same holds for the receiving grids, especially if integrated noise metrics or time records are required over dense/large grid areas for long lasting missions/trajectory with a short time steps.

Some preliminary proposed ways to reduce computational time have been considered:

- Differentiated complexity/accuracy linked with user input:
 - o *straight rays* - only humidity/dissipation effects final noise levels beside the geometric loss of sound energy (spherical propagation)
 - o Medium: noise metric L_{Amax} chosen - no data but max levels has to be saved between time steps - *ray-tracing (refractive propagation)* 2D computational planes radially out from current aircraft/source position, random ground-hits for rays. Interpolation of levels to final L_{Amax} noise map.
 - o Full: for noise mapping of integrated noise metrics or (primary) time-records in all receiving/grid points – *ray-tracing eigen-ray solver*, individual 2D computational planes for each receiving point. Iteration start values from previous trajectory/receiving point combination.
- Resampling to coarser trajectory time records and interpolation of noise levels between those.
- Limiting noise-event time extension in grid points (-10 dB estimate) before start of computation.
- Multi-processor parallelisation of computations

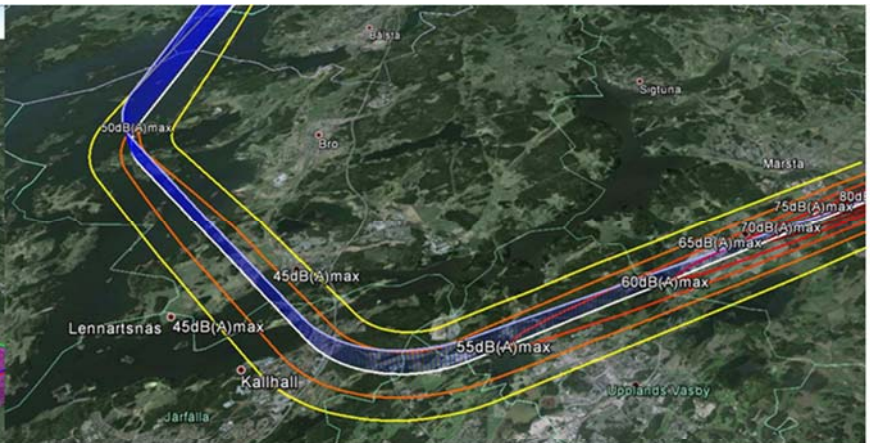
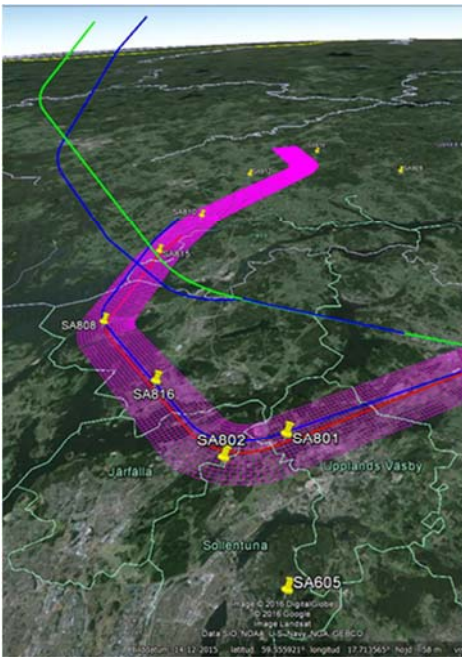


Figure 8. Example noise map produced with pre-study SAFT tool.

Figure 9. Ex. trajectories, CDA (green), "Standard" (blue) altitude – both scaled a factor 10 in altitude, together with sample grid.

Noise mapping (+ sound synthesis) – Work Package 5

Responsible: KTH

Duration: 18 months

Man months: KTH 10

In the SAFT pre-study draft methods for noise mapping and results presentation was surveyed. Based on the study it was decided to select the Google Earth (GE) as the primary output GUI, and the GE kml-file format. This choice has the advantages of full 3D-presentation of trajectories together with noise maps as well as a possibility to simple dissemination of results. A risk here is that GE in the future goes from freeware to strictly commercial software.

The noise mapping is closely linked with the ground-grid meshing. A partly automatic gridding method is planned to be developed. Based on trajectory ground tracks a “grid-ground” track, solely built up by straight lines and circular segments, is established. The idea is that the user give as input the desired width and resolution beneath one or more trajectory points. Curved grid sections keep a constant width and resolution while the straight sections might be given a conical shape, widening with increased trajectory altitude.

In this planned part of the SAFT development it will be possible to save and post-process noise spectra as well as noise events saved as time records. I.e. the code will be prepared to facilitate noise synthetisation in the sense that needed basic data could be produced but no attempt to re-sample the time-records and adding eventual tonal components for listening tests will be taken during this project.

System architecture/interfaces, In- and Output data, Testing of complete chain - Work Package 6

Responsible: KTH

Duration: 24 months

Man months: KTH 4

The general outline of code blocks and supporting programs is shown in Figure 5. This work package is intended to ensure that: 1) the planned division into different blocks is sufficient or if it should be modified; 2) different parts of the tool can communicate with each other, and 3) whether the need for support tools and requirements for data transfers between the blocks can be met.

The basic program language for established new code blocks and interfaces will be Matlab. Already existing code-blocks, written in other languages and going to be a part of main-program SAFT, will be encapsulated as mex-files. Where this step is not found applicable the needed code block has to stay as a separate supporting program outside main-SAFT code (or translated to Matlab if found possible).

Experiences from a previous establishment of a noise forecasting system (weather dependent artillery noise) will be exploited here.

For input data the following sub-sections holds that they all involves:

- specification of data needs, type and format
- identification of sources of these data
- acquisition of data and finally
- programming of computer routines to read and process these data

FDR-data – cont. Work Package 6

When it comes to input data a crucial point is FDR-data. This work package is about ensuring that FDR-data is made available. Specification of wanted data, request for enough and correct data as well as analysis and application of FDR-data.

FDR-data acquisition is planned to be the responsibility of SAFT’s sister project Brantare, see ref. (21). The FDR-data itself is to be delivered by Novair (Henrik Ekstrand).

Meteorological data – cont. Work Package 6

Preliminary data, possibilities and limitations for the different sources of atmospheric data:

- SMHI: HIRLAM or AROME model based data (30). Data needed in the development phase of SAFT, covered by this proposal, is supposed to be handled by the sister project ULLA (22).
 - o The project group have good experiences of implementing HIRLAM and other meteorological data in noise propagation models

- o Before end of year 1 of the project a decision with regard to establishment of special local meteorological models has to be taken, a need or an option? If regarded a need subcontracting will be actualised
- FDR data – limitations/possibilities with regard to meteorology data (see FDR-data above).
- Sounding – balloon or SODAR possibilities?

During the first year of the project it is planned to use sample meteorological data already at hand at KTH.

Other non-flight system data – cont. Work Package 6

Preliminary data and preliminary data resources options.

- Topography data, “Lantmäteriet” 50 m grid resolution - free
- Ground type data (to be used as input to ground acoustic impedance models) - free
- Population distribution data, free data exist but for more detailed data this will involve an extra cost.

Testing of complete chain– cont. Work Package 6

This part involves a validation of the complete chain – including testing against measurements and FDR-data anticipated in proposed CSA sister projects ULLA (“Undersökningar medelst Ljudmätningar vid Landningar på Arlanda”) and Brantare respectively.

Project management and time planning - Work Package 7

Responsible: KTH

Duration: 24 months

Man months: 2

Gant-chart and man months distribution

	2016		2017				2018		Man months		
	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	KTH	CTH	total
WP1									2	1	3
WP2									-	6.5	6.5
WP3									2	6.5	8.5
WP4									10	-	10
WP5									10	-	10
WP6									4	-	4
WP7									2	-	2
total									30	14	44

Table 2. Time table and man months

Deliverables: Month12 – Half-time progress report

Month24 – Final report

The reports will be public and presented at seminars as well as at conferences.

Milestones: Month 12: *Alpha versions of SAFT modules as of WP1 to WP5 able to run individually and together*

Responsible: CTH module 1 to 3, KTH module 4 to 5 and combined 1 to 5

Month 24: 1st version of SAFT. Modules as of WP1 to WP5 able to run individually and together. SAFT will be available for all CSA partners as well as CTH.

Responsible: CTH module 1 to 3, KTH module 4 to 5 and combined 1 to 5

Co-operation with other KTH applications

The CSA vision is to establish a world leading Swedish research on air traffic management that enables environmental impacts in particular noise to be minimized. In order to contribute to this the KTH partner in the centre has taken the initiative to four interrelated but still independent projects (**SAFT**, **ULLA**, **Brantare** and **INFRA**). Each of these projects contribute important parts to the centre vision and their relations with SAFT are described below.

ULLA – “Undersökningar medelst Ljudmätningar vid Landningar på Arlanda”

SAFT will support design of the planned measurements, and vice versa with regard to measurements carried out, which results will be applied for noise source model validations.

Brantare

Beta-versions of SAFT will be applied for studies within Brantare while Brantare will support SAFT with FDR-data and knowledge of system aspects such as operational routines and deviations as well as aircraft configurational issues.

INFRA

While SAFT will have a two-way interaction and exchange with the projects ULLA and Brantare the interaction with INFRA will be mainly one-way, i.e., as a new tool the impact and use of which should be analysed in INFRA (31).

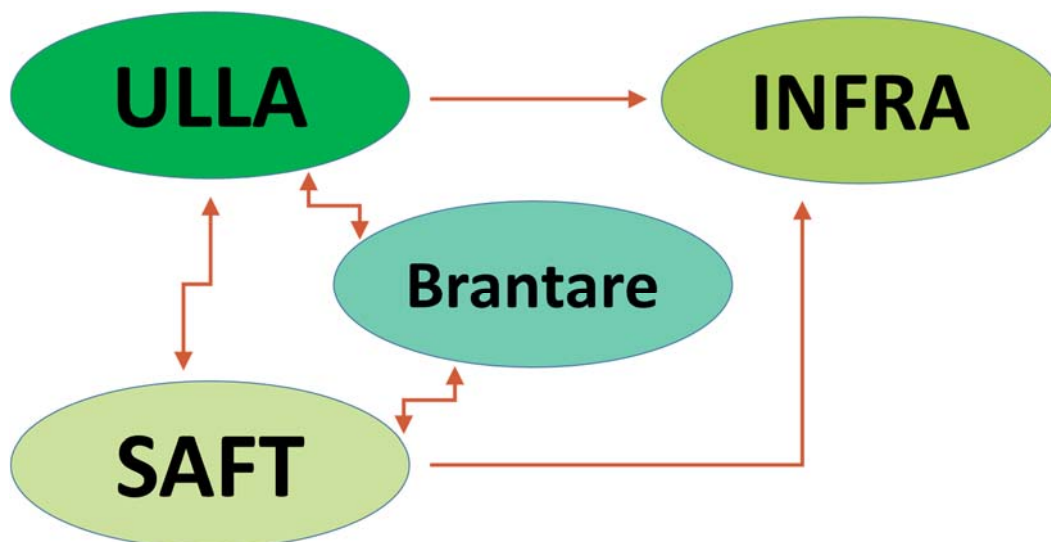


Figure 10. Interdependencies among the four KTH applications.

Project reference group

This group will be set up during the first 3 months of the project. The purpose is to get feedback from potential users of SAFT and to link to related research for instance in EU.

References

1. Ulf, Tengzelius. *Delrapport – Förstudie SAFT*. s.l. : KTH-MWL, 2016.
2. Eric R. Boeker, m.fl. *Integrated Noise Model (INM) Version 7.0 Technical Manual*. 2008.
3. ECAC. *CEAC Doc 29 3rd Edition Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports Volume 2: Technical Guide*. 2005.
4. Zorumski, W. E. *Aircraft noise prediction program theoretical manual, part 1*. s.l. : NASA, 1982.
5. *Design of the Next Generation Aircraft Noise Prediction Program: ANOPP2*. NASA Langley Research Center Leonard V. Lopes m.fl. s.l. : AIAA, 2011.
6. Anotec m.fl. Final Report Summary - ARMONEA (Anotec Real-time Model for Noise Exposure of Aircraft). [Online] 2014. http://cordis.europa.eu/result/rcn/140826_en.html.
7. ONERA . CARMEN. [Online] <http://www.onera.fr/en/news/iesta-use-carmen-module>.
8. NLR. VCNS - Virtual Community Noise Simulator. [Online] <http://www.nlr.nl/downloads/F363%20Virtual%20Community%20Noise%20Simulator.pdf>.
9. *Aircraft noise prediction*. Filippone, A. 2014, Progress in Aerospace Sciences, Vol. 68, pp. 27-63.
10. L. Bertsch m.fl. The Parametric Aircraft Noise Analysis Module - status overview and recent applications. *17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference Portland Oregon*. 2011.
11. EMPA ,R. Bütikofer. *Default aircraft source description and methods to assess source data*. s.l. : IMAGINE project 6th Framework Programme IMA4DR-061204-EMPA-10, 2006.
12. EMPA. sonAIR – Development of a new aircraft noise calculation model . [Online] <https://www.empa.ch/web/s509/sonair>.
13. Trafikverket. *Prognos 2015-2021 Trafikprognos Luftfart Dnr TSL 2015-1331*. 2015.
14. Trafikanalys. [Online] <http://www.trafa.se/luftfart/>.
15. Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft. [Online] <http://www.bdl.aero/en/bdl-reports-en/aircraft-noise-report/>.
16. EASA, European Aviation Safety Agency. Jet aeroplanes noise database. [Online] <https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/MAdB%20JETS%28160406%29.xlsx>.
17. D. Collin SNECMA/X3-Noise. Aircraft External Noise Network- Achievements and Future Activity. [Online] http://www.aerodays2006.org/sessions/A_Sessions/A3/A31.pdf.
18. ICAO . *Review of noise abatement procedure research & development and implementation results discussion of survey results*. s.l. : International Civil Aviation Organization, 2007.
19. Guidance_BalancedApproach_Noise. <http://www.icao.int>. [Online] http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Publications/Guidance_BalancedApproach_Noise.pdf.
20. *Artillery shooting noise prediction tool for the Swedish Armed Forces*. Ulf Tengzelius, Brodd-Leif Andersson. Tallin : BNAM, Baltic Nordic Acoustic Meeting, 2014.
21. Johan Rigner, Bengt Moberg. Brantare - application to CSA April 2016 (under preparation). 2016.
22. Bolin, Karl. LLA - Ljudmätningar vid Landning på Arlanda, application to CSA April 2016 (under preparation). 2016.
23. Gunston, B. *Jane's Aero-Engines*. London : Jane's Information Group.

24. Grönstedt, T. *“Development of Methods for Analysis and Optimization of Complex Jet Engine Systems”*, PhD Thesis. Gothenburg : Department of Thermo and Fluid Dynamics, Chalmers University of Technology, 2000.
25. Milo D. Dahl, editor. *Assessment of NASA’s Aircraft Noise Prediction Capability*. Ohio : NASA, Glenn Research Center, 2012. NASA/TP—2012-215653 2012.
26. Salomons, Erik M. *Computational Atmospheric Acoustics*. s.l. : Kluwer Academic Publishers, 2001.
27. Ilkka Karasalo, Brodd Leif Andersson, Ulf Tengzelius. *D1.3 - PE model for long range propagation of aircraft noise*. s.l. : EU-project NINHA (Noise Impact of aircraft with Novel engine configurations in mid- to High Altitude operations), 2012.
28. *Sound in shadow zones due to atmospheric turbulence - comparison of ray-based predictions with experimental data*. Ulf Tengzelius, Ilkka Karasalo. Sevilla : CEAS-ASC Workshop Atmospheric and Ground Effects on Aircraft Noise, 2013.
29. *An analytical model for turbulence scattered rays in the shadow zone for outdoor sound propagation calculation*. Lam, Y. W. s.l. : Acoustical Society of America, 2009, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 125(3).
30. www.smhi.se. *Meteorologiska modeller*. [Online] <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/meteorologiska-modeller-1.5932>.
31. Ulfengren, Pernilla. INFRA - application to CSA April 2016 (under preparation). 2016.

Bilaga B

Budget SAFT

The project duration is 24 months with a planned start date July 1st 2016.

Staff	Role	Man-months	Cost (SEK)
KTH			
Mats Åbom	Project leader	2	400.000
Ulf Tengzelius	Leader WP 1,4,5,6	24	3.400.000
Illka Karasalo	Researcher WP 4,5,6	4	630.000
CTH			
Tomas Grönstedt	Leader WP 2+3	2	400.000
Fakhre Ali	Researcher WP 1,2,3	12	1.100.000
Travel			30.000
Total			5.960.000

The costs are based on the actual salaries (2016) for the involved persons including social taxes and the university overheads. The travel is to cover trips (train) between Stockholm and Göteborg for the project personnel during 2 years.

The cost for the two PI:s (professors) involved Mats Åbom, KTH and Tomas Grönstedt, CTH will be considered in-kind from KTH and CTH. **The total amount applied for is therefore: 5.160.000 kr.**

Based on the total number of man-months 44 this cost corresponds to **a project cost of 1.407.000 kr per man-year.**

Bilaga C CV:s

KTH:

Name: Mats Åbom 540606

Current Positions

Title/position at employer

Professor in Fluid Acoustics, KTH-The Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration Research.

Role in the project: Project leader (PI)

Experiences

1990-1995 Company/Employer – Position/title

Assistant Professor (Forskarassistent), Dept. of Technical Acoustics, KTH

1995-1996 Company/Employer – Position/title

Senior researcher “Docent”, The Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration Research (MWL), KTH

1996-2000 Company/Employer – Position/title

ABB Corporate Research, Västerås, Sweden. Specialist and main project leader for acoustic related projects.

2000- Company/Employer – Position/title

Professor in Fluid Acoustics, KTH from September 1:st 2000.

2003-2015 Company/Employer – Position/title

Head of the Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration Research, KTH.

2011-2017 vice-Director Competence Centre for Gas Exchange, KTH-CCGEx.

2014-2016 vice-President European Acoustical Association

2015- Director Centre for Sustainable Aviation, KTH-CSA

Education

1978 MSc Engineering Physics, KTH

1989 PhD Technical Acoustics, KTH

1995 “Docent” Technical Acoustics

Research, Publications: Focus on aeroacoustics, ducts and noise control for vehicles. A total of over 2300 citations (h-index 23), scholar.google.se/citations?user=NOz2tEMAAAAJ&hl=sv. Co-author of 9 patents.

Name: Ulf Tengzelius 580622

Education

1980-1985 Master of Science Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm

Employments

1985-86 Akelab – Consultancy in Electroacoustics

1986-90 Telub – Consultancy Acoustics, Speech intelligibility and communication

1990-94 KM (3K) Akustikbyrå - Consultancy Acoustics, Structural dynamics and programming

1994-2001 FFA, Flygtekniska Försöksanstalten – Acoustics research, vibrations and internal noise in aircraft cabins, active noise control, noise propagation

2001-2015 FOI - Acoustics research and surveys, external-/internal noise aircraft, noise propagation, vibrations, signal processing and analysis, programming. CFD/aerodynamics computations and studies in the field of aeronautics, modelling and meshing, project managing, support in environmental matters such as processes related to environmental permits. Studies of environmental impact from future supersonic aircraft fleets.

2015- KTH-MWL

Selected project involvement during last 5 years

EU FP7:

NINHA - Noise Impact of aircraft with Novel engine configurations in mid to High-Altitude operations (research leader FOI, High Fidelity noise propagation models)

FAST20xx- Future High-Altitude High Speed Transport 20XX (responsible for environmental WP - noise/emissions).

National Swedish:

Project manager and system architect for a noise forecasting system for Swedish artillery shooting ranges. The system was launched 2015 and is used on a daily basis to avoid noise disturbances in neighbouring cities and smaller countryside agglomerations.

Name: **Ilkka Karasalo** **461106**

Education

1969 Master of Engineering in Technical Physics, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.

1975 Dr. Techn. in Numerical Analysis, KTH.

1984 Docent in Numerical Analysis, KTH.

Employments

1975 Mathematician, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California, USA. Theoretical and numerical studies of capillary stability of fluids at low gravity.

1976 Systems Engineer, ASEA AB, Västerås, Sweden. Development and implementation of numerical methods for systems of ordinary differential-algebraic equations.

1978 Mathematician, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, California, USA. Numerical studies of ignition and flame propagation in combustive gas fuels.

1980 Research Officer (Förste forskare), FOA, Stockholm. Development of the CANTOR relational data base handler. From 1983 development and experimental assessment of sensor array processing methods for signal detection and localisation.

1985 Senior Research Officer (Laborator), FOA, Stockholm. Development of high-resolution signal processing methods for sensor arrays. Development of numerical methods and software for wave propagation in layered media.

1989 Research Director (Forskningschef), FOA, Stockholm. Project leader of projects on underwater sound propagation, oceanography and atmospheric sound propagation. Scientific leader of the FOI partnership in the EU projects ISACS (1996-1999), SITAR (2002-2004) and UAN (2009-2012).

1989 Adjunct Professor at the Marcus Wallenberg Laboratory of Sound and Vibration Research, Department of Aeronautical and Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm. PhD student assistant supervisor (Sven Ivansson 1994). PhD student supervisor (Elias Parastates 1999, Alex Cederholm 2003, Elin Svensson 2007).

CTH:

Name: Tomas Grönstedt 700103

Education

2012 Professor in turbomachinery, Chalmers University

2004 Docent degree in thermo and fluid dynamics, Chalmers University.

2000 Ph. D. degree in thermo and fluid dynamics at Chalmers University

1994 Master of Science, engineering chemistry with engineering physics, Chalmers University

Employments & involvement

2015- Head of Turbomachinery & Aero-acoustics group (senior lecturer, assistant professor, two post- doctoral research students and 8 Ph.D. students), division of fluid dynamics, department of applied mechanics, Chalmers University of Technology.

2015- Coordinator of Horizon 2020 ULTIMATE project. Co-author of the Swedish flight research agenda (2010, 2013, 2016)

Selected project involvement during last 5 years

EU: FP6 NEWAC/DREAM (research leader Chalmers), FP7: ENOVAL/LEMCOTEC/E-BREAK (research leader Chalmers), Horizon 2020: ULTIMATE (project coordinator)

National (NFFP 6): Green Engines II, MotorER och Aerodynamik for framtida EFFektiva flygplan (MEREFF), Design For Performance, Innovativ Framdrivning och Motorinstallation, Virtual Integrated Compressor

Name: Fakhre Ali

Age, Gender: 29, Male

Contact information: fakhre.ali@chalmers.se

Education

Dr. Fakhre Ali has recently completed his Enhanced Engineering Doctorate (EngD) from Cranfield University, United Kingdom.

2010 MSc Advanced Mechanical Engineering, Cranfield University, UK

2015 Enhanced Engineering Doctorate (EngD), Cranfield University, UK

In the context of his EngD research work, he developed a multidisciplinary simulation framework for the design, optimization and environmental assessment of integrated rotorcraft systems and rotorcraft operations. His work was focused particularly on developing alternative engine conceptual design and analyses including aeroengine performance modelling and optimization towards reduced fuel consumption and emissions. His work was placed within the context of the EU FP7 Clean Sky Joint Technology Initiative and benefits from a strong collaboration with major industrial partners from the EU rotorcraft community.

Current Position

Title/position at employer

Post-doctoral Research Fellow, Chalmers University of Technology, Applied Mechanics Department, Fluid Dynamics Division, Gothenburg, Sweden.

Role in the Project: CTH Work Packages Leader

Merits, & Publications

Dr. Fakhre Ali has published more than 20 papers on scientific journals and international peer-reviewed conferences since 2013 and was awarded with the 'American Society of Mechanical Engineers, International Gas turbine Institute, Young Engineer Award in June 2015. His current research is focused on understanding the subsonic aircraft system level noise and towards development of analytical methods for modelling existing and advanced system level concepts targeting reduction in aircraft total noise level.

Bilaga D

Publikationslista för huvudsökande och medsökande under de senaste fem åren.

Publications 2011-2015, Mats Åbom

Journal Publications (reversed chronological order)

1. Alenius, E., **Åbom, M.** and Fuchs, L. (2015) Large eddy simulations of acoustic-flow interaction at an orifice plate. *Journal of Sound and Vibration*. doi:10.1016/j.jsv.2015.02.012.
2. Muttalip, A., Lopez Arteaga, I., Efraimsson, G., **Åbom, M.** and Hirschberg, A. (2015) The influence of edge geometry on end-correction coefficients in micro perforated plates. *J. Acoust. Soc. Am.* **138** (6). doi: 10.1121/1.4937748.
3. Kårekull, O., Efraimsson, G. and **Åbom, M.** (2015) Revisiting the Nelson–Morfey scaling law for flow noise from duct constrictions. *Journal of Sound and Vibration* **357**, 233–244. doi:10.1016/j.jsv.2015.06.019.
4. Leping, F., **Åbom, M.** and Orrenius, U. (2015) Engineering methods to predict noise levels at reference points with known source properties. *Applied Acoustics* **96**, 68–74.
5. Hynninen, A. and **Åbom, M.** (2015) Determination of in-duct sound power beyond the plane wave range using wall-mounted microphones. *Applied Acoustics* **99**, 24–30. doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.05.003.
6. Holmberg, A., Karlsson, M., **Åbom, M.** (2015) Aeroacoustics of rectangular T-junctions subject to combined grazing and bias flows – An experimental investigation. *Journal of Sound and Vibration* **340**, 152–166. doi:10.1016/j.jsv.2014.11.040.
7. Tiikoja, H., Lavrentjev, J., Rämmal, H. and **Åbom, M.** (2014) Experimental investigations of sound reflection from a hot and subsonic flow duct termination. *Journal of Sound and Vibration* **331**, 1084–1096. doi:10.1016/j.jsv.2013.09.030.
8. Hynninen, A. and **Åbom, M.** (2014) Acoustic source characterization for prediction of medium speed diesel engine exhaust noise. *ASME Journal of Vibration and Acoustics* **136**(2). doi: 10.1115/1.402613.
9. Kårekull, O., Efraimsson, G. and **Åbom, M.** (2014) Prediction model of flow duct constriction noise. *Applied Acoustics* **82**, 45–52. doi:10.1016/j.apacoust.2014.03.001.
10. Elnady, T., **Åbom, M.**, and Yang, Y. (2014) Systematic Optimization of an Exhaust System to Meet Noise Radiation Criteria at Idle, *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.* **7**(3):2014, doi:10.4271/2014-01-0006.
11. Allam, S. and **Åbom, M.** (2014) Fan noise control using micro-perforated splitter silencers. *ASME-Journal of Vibration and Acoustics* **36**(3): 031017-031017-8. VIB-13-1298. DOI:10.1115/1.4027245.
12. Kabral, R., Du, L., **Åbom, M.**, and Knutsson, M., (2014) A Compact Silencer for the Control of Compressor Noise, *SAE Int. J. Engines* **7**(3): 2014, doi:10.4271/2014-01-2060.
13. Kierkegaard, A., Allam, S., Efraimsson, G and **Åbom, M.** (2012). Simulations of whistling and the whistling potentiality of an in-duct orifice with linear aeroacoustics. *Journal of Sound and Vibration* **331**, 1084–1096. doi:10.1016/j.jsv.2011.10.028.
14. Hynninen, A., Turunen, R., **Åbom, M.** and Bodén, H. (2012) Acoustic source data for medium speed IC-engines. *ASME Journal of vibration and Acoustics*, **134**(5). doi: 10.1115/1.4006415.
15. Allam, S. and **Åbom, M.** (2012). Noise control for cooling fans on heavy vehicles. *Noise Control Eng. Journal* **60**(6), Nov-Dec, pp. 707-715.
16. Tiikoja, H., Rämmal, H., **Åbom, M.** and Boden, H. (2011). Investigations of Automotive Turbocharger Acoustics. *SAE Int. J. Engines* August 2011 **4**:2531-2542; doi:10.4271/2011-24-0221.
17. Knutsson, M., Lennblad, J., Bodén, H. and **Åbom, M.** (2011). A Study on Acoustical Time-Domain Two-Ports Based on Digital Filters with Application to Automotive Air Intake Systems. *SAE Int. J. of Passeng. Cars – Mech. Syst.* August 2011 **4**:970-982. doi:10.4271/2011-01-1522.
18. Holmberg, A., **Åbom, M.** and Bodén, H. (2011). Accurate experimental two-port analysis of flow generated sound. *Journal of Sound and Vibration*, doi: 10.1016/j.jsv.2011.07.041.
19. Elnady, T., Elsaadany, S. and **Åbom, M.** (2011) Flow and Pressure Drop Calculation Using Two-Ports. *ASME-Journal of Vibration and Acoustics*, vol. **133**, Aug 2011,

doi: 10.1115/1.4003593.

20. Karlsson, M. and Åbom, M. (2011) Quasi-steady model of the acoustic scattering properties of a T-junction, *Journal of Sound and Vibration*, June 2011, doi:10.1016/j.jsv.2011.05.012.
21. Allam, S. and Åbom, M. (2011) A New Type of Muffler Based on Microperforated Tubes. *ASME-Journal of Vibration and Acoustics*, vol. **133**, June 2011.
22. Karlsson, M. and Åbom, M. (2011) On the Use of Linear Acoustic Multiports to Predict Whistling in Confined Flows. *Acta Acustica* vol. **97**.

Conference Publications (reversed chronological order)

23. Sack, S. and Åbom, M., Denayer, H., De Roeck, W. and Desmet, W. (2015) Uncertainty estimation in multi-port measurements. EuroNoise 2015.
24. Sack, S. and Åbom, M. (2015) Experimental and computational multi-port characterization of a circular orifice plate. *The Journal of the Acoustical Society of America* **138** (3), 1800-1800.
25. Hynninen, A. and Åbom, M. (2015) Procedure to estimate the acoustic performance of the particle oxidation catalyst poc® with low Mach-number flows. 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering.
26. Kårekull, O., Efraimsson, G. and Åbom, M. (2015) Challenges and opportunities for flow noise prediction in HVAC systems. Fan 2015, Lyon, Frankrike.
27. Sack, S., Åbom, M., Kucukcoskun, K., and Schram, C. (2015). Comparison of the Scattering of an Operating and a Quiescent Fan. Fan 2015, Lyon, Frankrike.
28. Schram, C., Sack, S., Aguiar, J., Kucukcoskun, K., and Åbom, M. (2015). In-duct Methods for Aeroacoustics. *Keynote paper: Novem 2015, Noise and Vibration – Emerging Technologies*, Dubrovnik, Croatia.
29. Sack S., Schram C.F., Kucukcoskun K. and Åbom M., (2014) Generation and scattering of acoustic modes in ducts with flow. 20th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 16-20 June, Atlanta, US.
30. Sack S., Schram C.F., Kucukcoskun K. and Åbom M., (2014) Experimental characterization of acoustic multi-ports. Forum Acusticum, 7-12 Sept 2014, Krakow.
31. Muttalip A.T., Lopez Arteaga I., Efraimsson G., Åbom M. and Hirschberg A., (2014) Acoustic end correction in micro-perforated plates-revisited. ICSV 21, 13-17 July, 2014, Beijing, China.
32. Allam, S. and Åbom, M. (2013) Whistling Potential for Duct Components. SAE Technical paper 2013-01-0067
33. Kabral, R., Rämmäl, H. and Åbom, M. (2013) Acoustical Methods for Investigating Turbocharger Surge. SAE Technical paper 13NVC-0075.
34. Allam, S. and Åbom, M. (2013) Dissipative Silencers Based on Micro-Perforated Plates. SAE Technical Paper Series, 2013-24-0071, doi: 10.4271/2013-24-0071.
35. Allam, S. and Åbom, M. (2013) Investigation of Aerodynamic Installation effects for an Axial fan. 19th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 27-29 May 2013, Berlin.
36. Rynell A., Efraimsson G, Chevalier M. and Åbom M., (2013) Quiet and efficient cooling for IC-engine powered systems. Inter-Noise 2013, Innsbruck, Austria.
37. Sabry Allam, Mats Åbom and Lars Westerm, 2012. Noise Control for cooling fans on heavy vehicles. Fan 2012 Conference, Senlis, France.
38. Sabry Allam and Mats Åbom, 2012. Acoustic modelling and characterization of plate heat-exchangers. SAE paper 2012-01-1562, Styrian NVH conference 2012, Graz, Austria.
39. Magnus Knutsson and Mats Åbom, 2012. Low frequency damping from turbulence with application to charge air coolers. Inter-Noise conference paper In 12_187, New York.
40. Antti Hynninen and Mats Åbom, 2012. Procedure to estimate the in-duct sound power in the high frequency range with non-plane waves. Inter-Noise conference paper In 12_531, New York.
41. Emma Alenius, Mats Åbom and Laszlo Fuchs, 2012. LES of Acoustic-Flow Interaction at an orifice plate. 18th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 04 - 06 June 2012, Colorado Springs, USA.
42. Sabry Allam and Mats Åbom, 2012. Cooling Fan Noise control using micro-perforates. Inter-Noise conference paper In 12_1344, New York.
43. Tamer Elnady, Weam Elshahar and Mats Åbom, 2012. Estimation of temperature drop in exhaust systems. Inter-Noise conference paper In 12_1479, New York.
44. Sara Elsaadany, Tamer Elnady, Susann Boij and Mats Åbom, 2011. Optimization of exhaust systems to meet the acoustic regulations and the engine specifications. ICSV18, Rio de Janeiro 10-14 July 2011.

45. Ana M. Pedrosa, Francisco D. Denia, F. Javier Fuenmayor and Mats Åbom, 2011. Experimental measurement of acoustic properties by a two-source method with simultaneous excitation, ICSV18, Rio de Janeiro 10-14 July 2011.
46. Heiki Tiikoja, Hans Rämmal, Mats Åbom and Hans Boden, 2011. Sound Transmission in Automotive Turbochargers. SAE NVH conference, paper 2011-01-1525.
47. Magnus Knutsson, Johan Lennblad, Hans Bodén and Mats Abom, 2011. A Study on Acoustical Time-Domain Two-Ports Based on Digital Filters with Application to Automotive Air Intake Systems, SAE NVH conference, paper 2011-01-1522.

Keynotes and invited lectures

48. **Mats Åbom** and Stefan Sack, 2015. Multi-port Eduction for Ducted Components. VKI Lecture series on: Progress in Simulation, Control and Reduction of Ventilation Noise, 16-18 November.
49. **Mats Åbom**, 2014. Turbocharger noise-generation and control. SAE NVH Brazil, 4-5 Nov, Florianopolis, Brazil.
50. **Mats Åbom** and Sabry Allam, 2012. On the use of micro-perforates for machinery noise control. Invited paper ASA fall meeting, 22-26 Oct 2012, Kansas City.

Publications 2011-2015, Ulf Tengzelius

1. Ilkka Karasalo, Brodd Leif Andersson, Ulf Tengzelius. *D1.3 - PE model for long range propagation of aircraft noise*. s.l. : EU-project NINHA (Noise Impact of aircraft with Novel engine configurations in mid- to High Altitude operations), 2012.
2. Ulf Tengzelius: Report on Environmental Impact – Including Noise and Emissions, FAST20XX – Future high-Altitude high-Speed Transport 20XX Deliverable 4.3.1-3, 7th Framework EU-project, 2012
3. Martin Sippel, Ulf Tengzelius, Aron Lentsch et.al. Technical Maturation of the SpaceLiner Concept, 18th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, 2012 24-28 September 2012, Tours, France
4. Sound in shadow zones due to atmospheric turbulence - comparison of ray-based predictions with experimental data. Ulf Tengzelius, Ilkka Karasalo. Sevilla : CEAS-ASC Workshop Atmospheric and Ground Effects on Aircraft Noise, 2013.
5. Artillery shooting noise prediction tool for the Swedish Armed Forces. Ulf Tengzelius, Brodd-Leif Andersson. Tallin : BNAM, Baltic Nordic Acoustic Meeting, 2014.

Publications 2011-2015, Ilkka Karasalo

1. L.Abrahamsson, S.Ivansson, I.Karasalo: UAN WP2 Deliverable 2.3 Performance evaluation prediction , Tech. Rep. ECFP7, UAN, GA 225669, WP2 D2.3, FOI, Stockholm, 2010.
2. I.Karasalo: Time-domain modelling of turbo-coded underwater communication. Oceans'11, Santander, Spain, 6-9 June 2011.
3. I.Karasalo: Modelling of turbo-coded acoustic communication in realistic underwater environments. in 4th Int. Conf. & Exhib Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results, Kos, Greece, 2011, pp. 1089-1094.
4. L. Abrahamsson, I. Karasalo, and S. Ivansson: Geoacoustic inversion of data from underwater communications at short range, in 4th Int. Conf. & Exhib Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results, Kos, Greece, 2011, pp. 1095-1100.
5. J. Pihl, I. Karasalo, P. Morén and E. Parastates: Target strength measurements in shallow water, in 4th Int. Conf. & Exhib Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results, Kos, Greece, 2011, pp. 1211-1216
6. L.Abrahamsson, S.Ivansson, I.Karasalo: UAN WP2 Deliverable 2.4 - Validation of predicted performance against field data. Tech. Rep. EC FP7, UAN, GA 225669, WP2 D2.4, FOI, Stockholm, 2011.
7. I.Karasalo: Modelling of acoustic scattering from a submarine in shallow water. ECUA 2012, Edinburgh, UK, 2-6 July, 2012.
8. I.Karasalo, B.Nilsson, T.Öberg: Turbo-coded underwater communication performance – model predictions and experimental results. ECUA 2012, Edinburgh, UK, 2-6 July, 2012.
9. I.Karasalo, T.Öberg, B.Nilsson: A single carrier turbo coded system for underwater communication. UComms 2012, Sestri Levante, Italy, 12-14 Sept, 2012.
10. I.Karasalo, B.Nilsson, T.Öberg, S.Ivansson: A Single-Carrier Turbo-Coded System for Underwater Communications. IEEE Journal of Ocean Engineering, Vol 38:4 (2013), pp 666-677.
11. K.Bolin, M.Almgren, E.Ohlsson, I.Karasalo: Long term estimations of low frequency noise levels over water from an off-shore wind farm. J. Acoust. Soc. Am. 135 , 1106 (2014).
12. M.Collin, M.Ainslie, C.deJong, B.Binnerts, T.Beels, M.Östberg, I.Karasalo, T.Folegot, D.Clorennec, O.Sertlek : Definition and results of test cases for shipping sound maps, IEEE Xplore Digital Library, 2015. DOI : 10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271461.
13. T.Gaggero, E.Rizzuto, I.Karasalo, M.Östberg, T.Folegot, L.Six, M. derSchaar, M.André: Validation of a simulation tool for ship traffic noise. Oceans 2015, Genova, IEEE Xplore Digital

Publications 2011 (april) -2016 (april), Tomas Grönstedt

1. Kyprianidis, K., Grönstedt T., Ogaji S., Pilidis P. and Singh, R, "Assessment of Future Aero-Engine Designs with Intercooled and Intercooled Recuperated Cores", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Jan. 2011, Vol. 133, Issue 1, 2011
2. Henriksson, M., Grönstedt, T. and Breitholtz C., "Model based on-board turbofan thrust estimation", Control Engineering Practice, Vol. 19, No. 6, pp 602-610, June 2011
3. Grönstedt, T. and Avellán, R., "An Assessment of the Variable Cycle Capability of Inter-Turbine Turbofan Engines, ISABE-2011-1317
4. Xu L., Kyprianidis, K. and Grönstedt, T. "Optimization Study of An Intercooled-Recuperated Engine", ISABE-2011-1318
5. Irannezhad, M., Grönstedt T. and Eriksson L-E., "Limitations on Tube Filling in a Pulse Detonation Engine", ISABE-2011-1501
6. Thorbergsson, E. and Grönstedt T., "Multicriteria Optimization of Conceptual Compressor Aerodynamic Design", ISABE-2011-1253
7. Larsson L., Avellán, R. and Grönstedt, T., "Mission Optimization of the Geared Turbofan Engine", ISABE-2011-1314
8. M. Sammak, K. Jonshagen, M. Thern, E. Thorbergsson, T. Grönstedt, A. Dahlquist, M. Genrup, "*Conceptual Design of a Mid-Sized Semi-Closed Oxyfuel Cycle*", ASME Turbo Expo 2011, GT2011-46299, Vancouver, Canada, June 2011
9. D. Mitchell, H. Ekstrand, X. Prats and T. Grönstedt, "An environmental assessment of air traffic speed constraints in the departure phase of flight: A case study at Gothenburg Landvetter Airport, Sweden", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 17, Issue 8, pp. 610-618, Dec 2012
10. K. G. Kyprianidis, T. Grönstedt and João R. Barbosa, "Lessons Learned from the Development of Courses on Gas Turbine Multi-Disciplinary Conceptual Design", ASME Turbo Expo, GT2012-70095
11. Lei Xu, Konstantinos G. Kyprianidis, and Tomas U. J. Grönstedt. "Optimization Study of an Intercooled Recuperated Aero-Engine", Journal of Propulsion and Power, Vol. 29, No. 2 (2013), pp. 424-432.
12. K. G. Kyprianidis, T. Grönstedt, J. Barbosa, "Lessons Learned from the Development of Courses on Gas Turbine Multi-disciplinary conceptual Design", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 135(7), 2013
13. Thorbergsson, E., Grönstedt, T., "A Comparative Analysis of two Mid-Size Oxy-Fuel Combustion Cycles", ASME Turbo Expo 2012, GT2012-69676, Copenhagen, Denmark
14. Sammak M., Thorbergsson E., Grönstedt T. and Genrup M., "Conceptual Mean-Line Design of Single and Twin-Shaft Oxy-Fuel Gas Turbine in a Semi-Closed Oxy-Fuel Combustion Combined Cycle", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 135(8), 2013
15. Thorbergsson E., Grönstedt T. and Robinson C., "Integration of Fluid Thermodynamic and Transport Properties in Conceptual Turbomachinery Design", ASME Turbo Expo 2013, GT2013-95833, San Antonio, Texas, USA.
16. Grönstedt, T., Irannezhad, M., Xu L., Thulin O. and Lundblad, L., "First and Second Law Analysis of Future Aircraft Engines", ASME Turbo Expo, GT2013-95516, San Antonio, Texas, USA.

17. Kyprianidis , K. G., Rolt A. M. and Grönstedt T., "Multidisciplinary Analysis of a Geared Fan Intercooled Core Aero-Engine", ASME Turbo Expo, GT2013-95474, San Antonio, Texas, USA.
18. Zhao, X., Grönstedt, T. and Kyprianidis G. K., "Assessment of the Performance for a Two-Pass Cross Flow Intercooler for Aero Engine Applications", ISABE-2013-1215
19. Larsson, L, Lundbladh, A. and Grönstedt T., "Effects of Different Propeller Models on Open Rotor Fuel Consumption", ISABE-2013-1712
20. Järpner, C., Movaghar, A., Thorbergsson T. and Grönstedt T. , "An assessment of cooled air cooling for combined cycle gas turbines", 5th International Conference on Applied Energy, 2013
21. Lundbladh, A., Larsson, L and Grönstedt T., "Transforming Propulsion Installation for Commercial Aircraft", ISABE-2013-1434
22. A. Abdalla, H. Gazetta, T. Grönstedt, P. Krus, "The Effect of Engine Dimensions on Supersonic Aircraft Performance", 4:th CEAS Air & Space Conference, Linköping, 2013
23. Kyprianidis , K. G., Rolt A. M. and Grönstedt T., "Multidisciplinary Analysis of a Geared Fan Intercooled Core Aero-Engine", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 136(1), 2014
24. Grönstedt, T., Irannezhad, M., Xu L., Thulin O. and Lundbladh, L., "First and Second Law Analysis of Future Aircraft Engines", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 136(3), 2014
25. Larsson, L., Lundbladh, A. and Grönstedt T., "A Conceptual Design Study of an Open Rotor Powered Regional Aircraft", ASME Turbo Expo 2014, GT2014-26091, Duesseldorf, Germany
26. Zhao, X., and T. Grönstedt, "Conceptual design of a two-pass cross-flow aeroengine intercooler", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering (2014): 0954410014563587.
27. Camilleri, W., Anselmi, E., Sethi, V., Laskaridis, P., Grönstedt, T., Zhao, X., Rolt A. and Cobas, P. "Concept description and assessment of the main features of a geared intercooled reversed flow core engine", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering (2014), 0954410014557369.
28. X. Zhao and Grönstedt T., "First and Second Law Analysis of Intercooled Turbofan Engine", ASME Turbo Expo, GT2015-43187, Montreal, Canada.
29. S. Samuelsson, Konstantinos G. Kyprianidis and Grönstedt T., "Consistent Conceptual Design and Performance Modeling of Aero Engines", ASME Turbo Expo, GT2015-43331, Montreal, Canada.
30. X. Zhao, O. Thulin and Grönstedt T., "First and Second Law Analysis of Intercooled Turbofan Engine", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* 138(2), 2016
31. X. Zhao, O. Thulin and Grönstedt T., "Aero Engine Intercooling Optimization Using Variable Flow Path", ISABE-2015-20018
32. O. Thulin, J.-M. Rogero, T. Grönstedt, "A Mission Assessment of Aero Engine Losses", ISABE-2015-20121
33. A. Lundbladh, T. Grönstedt, M. Genrup, P. Platell, "High Power Density Work Extraction from Turbofan Exhaust Heat", ISABE-2015-20101
34. V. Raja, S. Samuelsson, O. Isaksson, T. Grönstedt, "Exploring Influence of Static Engine Component Design Variables on System Level Performance", ISABE2015-20082

35. R. Avellán, A. Capitaó Patrao, A. Lundblad, T. Grönstedt, "Preparing for Proof-of-concept of a Novel Propeller for Open Rotor Engines", ISABE-2015-20097
36. E. Thorbergsson and T. Grönstedt, "A Thermodynamic Analysis of Two Competing Mid-Sized Oxyfuel Combustion Combined Cycles," Journal of Energy, vol. 2016, doi:10.1155/2016/2438431

In books

37. Grönstedt T., 2012, "Propulsion Systems Modeling", von Karman Institute Lecture Series on "Physics-Based Modeling & Simulation for Aerospace Systems" Wright State University, USA. August. ISBN-13 978-2-87516-038-6

Strategic publications

38. NRIA Flyg 2013, National Research and Innovation Agenda - Den svenska forsknings- och innovationsagendan för flyg. [Online] <http://www.nriaflyg.se/docs/nriaflyg2013-sv.pdf>.
39. Coordinator and co-author of Swedish parliament report "Framtidens Flyg", ISSN 1653-0942, 2014

Patents

40. Avellán, R. and Grönstedt, T., "A GAS TURBINE ENGINE", United States Patent US8387389, Issued March 5, 2013

Publications 2011-2015, Fakhre Ali

Published Journal Articles

1. F. Ali, I. Goulos, V. Pachidis. "An Integrated Methodology to Assess the Operational and Environmental Performance of a Conceptual Regenerative Helicopter" The Aeronautical Journal, Manuscript Number: AeroJ-D-13-04065. Vol. 119, (1211), January 2014.
2. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "Optimized Powerplant Configurations for Improved Rotorcraft Operational and Environmental Performance" Journal of The American Helicopter Society, Vol. 60, (2), April 2015.
3. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "Multi-objective Optimization of Conceptual Rotorcraft Powerplants: Trade-off between Rotorcraft Fuel Efficiency and Environmental Impact" American Society of Mechanical Engineers, Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol. 137(7), 071201 (Jul 01, 2015).
4. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "Multidisciplinary Design and Optimisation of Conceptual Rotorcraft Powerplants for Operational Performance and Environmental Impact" The Aeronautical Journal, Vol. 119, (1218), August 2015.
5. Goulos, F. Ali, K. Tzanidakis, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "A Multidisciplinary Approach for the Comprehensive Assessment of Integrated Rotorcraft–Powerplant Systems at Mission Level" American Society of Mechanical Engineers, Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, 137(1), 012603 (Aug 26, 2014).
6. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "Design Space Exploration and Optimization of Conceptual Rotorcraft Powerplants" American Society of Mechanical Engineers, Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, 137(12), 121701 (Aug 04, 2015).
7. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "Multi-Objective Optimization of a Regenerative Rotorcraft Powerplant: Quantification of Overall Engine Weight and Fuel Economy" American Society of Mechanical Engineers, Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, GTP-14-1327", 137(12), 121201 (Jun 23, 2015)
8. F. Ali, I. Goulos, V. Pachidis". A Preliminary Design Trade-off Study for an Advanced Propulsion Technology Helicopter at Mission Level" American Society of Mechanical Engineers, Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, 138(1), 012602 (Aug 25, 2015).

Published Conference Papers

9. F. Ali, V. Pachidis, I Goulos, M Tashfeen, P Pilidis "Helicopter Mission Analysis for a Regenerated Turboshaft - Focusing on Various Helicopter Applications", Proceedings of American Society of Mechanical Engineers Turbo Expo 2013, San Antonio, Texas, USA, No. GT2013-94971, June 3-7 2013.
10. F. Ali, V. Pachidis, Ioannis Goulos, M Tashfeen, P Pilidis "Helicopter Mission Analysis for a Regenerative Turboshaft Engine – A Multidisciplinary Approach", Proceedings of the American Helicopter Society, 69th Annual Forum, Phoenix, Arizona, USA, May 21–23, 2013.
11. F. Ali, I. Goulos, V. Pachidis. K. Tzanidakis, R. d'Ippolito. "A Multidisciplinary Approach for the Comprehensive Assessment of Integrated Rotorcraft–Powerplant Systems at Mission Level". Proceedings of American Society of Mechanical Engineers Turbo Expo 2014: Power for Land, Sea and Air, June 16 - 20, 2014, Dusseldorf, Germany. Manuscript GT2014-2503.
12. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "Optimized Powerplant Configurations for Improved Rotorcraft Operational Performance", Proceedings of the American Helicopter Society, 70th Annual Forum & Technology Display, May 20-22, 2014, Montreal, Canada.

13. F. Ali, S. Mohtasim, I. Goulos, V. Pachidis. "A Preliminary Parametric Study for an Advanced Propulsion Technology Helicopter" Proceedings of 40th European Rotorcraft Forum, 2nd – 5th September 2014, Southampton, United Kingdom.
14. F. Ali, I. Goulos, V. Pachidis. K. Tzanidakis, R. d'Ippolito "Multidisciplinary Design and Optimization of Conceptual Powerplant Configurations Targeting Improved Rotorcraft Operational Performance" Proceedings of 8th Australian Pacific Vertiflite Conference on Helicopter Technologies, 3rd Asian Australian Rotorcraft Forum, Melbourne Convention and Exhibition Centre, Melbourne Australia, 18-19 December 2014.
15. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito. "Design Space Exploration and Optimization of Conceptual Rotorcraft Powerplants" Proceedings of American Society of Mechanical Engineers Turbo Expo 2015: Power for Land, Sea and Air, June 15 - 19, 2015, Montreal, Canada. Manuscript GT2015-44003.
16. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito, "Multi-objective optimization of Conceptual Rotorcraft Powerplant: Trade-off between rotorcraft Fuel Efficiency and Environmental Impact" Proceedings of American Society of Mechanical Engineers Turbo Expo 2015: Power for Land, Sea and Air, June 15 - 19, 2015, Montreal, Canada. Manuscript GT2015-44001.
17. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito, "Multi-objective Optimization of a Regenerative Rotorcraft Powerplant: Quantification of Engine Weight and Fuel Efficiency" Proceedings of the American Helicopter Society, 71st Annual Forum, Virginia Beach, Virginia, USA, May 5–7, 2015.
18. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito, "Design and Optimization of a Reheat Cycle Turboshift Targeting Improved Rotorcraft Operational Performance " Proceedings of the American Helicopter Society, 71st Annual Forum, Virginia Beach, Virginia, USA, May 5–7, 2015.
19. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito, "Conceptual Design and Optimisation of an Advanced Rotorcraft Powerplant Architecture" Proceedings of 41st European Rotorcraft Forum, 1st – 4th September 2015, Munich, Germany.
20. F. Ali, K. Tzanidakis, I. Goulos, V. Pachidis, R. d'Ippolito, "Integrated Rotorcraft Multidisciplinary Design and Optimisation Framework: Towards the High Fidelity Conceptual Design Environment" Proceedings of 41st European Rotorcraft Forum, 1st – 4th September 2015, Munich, Germany.
21. F. Ali, I. Goulos, V. Pachidis, "Improvements in the Rotorcraft Fuel Economy and Environmental Impact through Multiple-Landing Mission Strategy" Proceedings of the American Helicopter Society, 71st Annual Forum, May 17–19, 2016, West Palm Beach, Florida, USA.
22. F. Ali., D. Carlsson and L. Ellbrant., T. Gronstedt "A Noise Assessment Framework for Subsonic Aircraft and Engines" Proceedings of American Society of Mechanical Engineers Turbo Expo 2015: Power for Land, Sea and Air, June 13th - 17th, 2016 Seoul, South Korea GT2016-58012.

BILAGA 3.

"Komplettering av Projektförslag SAFT " Till TFV Portfölj 9-Luftfart 2016-06-23

Komplettering av Projektförslag SAFT

I Protokoll från CSA:s styrelsemöte på KTH den 3 juni 2016 (daterat 2016-06-13) framgår att projektansökan SAFT har beviljats finansiering men att man från CSA:s styrelse önskar att projektförslaget kompletteras med beskrivningar av:

1. Planerad samverkan med andra parter och projekt (Brantare och ULLA)
2. Hur tidigare forskning tillvaratas
3. Hur resultaten kommer att nyttiggöras

Dessa kompletteringar följer nedan.

1. Komplettering med avseende på "Samverkan med andra parter och projekt (Brantare och ULLA)"

Ur ansökan SAFT:

"Flight operations and Study input – Work Package 1

...2. ... b) Trajectory – coordinates + detailed flight condition data – given by FDR data

...5. Meteorological input ... c) From FDR-data

... Essential support to the specification of the SAFT-tool needs and requirements will be given by Novair (Henrik Ekstrand). Contribution will be given as well from the KTH initiated CSA applications Brantare and ULLA."

"Sound sources – Work Package 3

For the validation of sound sources FDR-data is planned to be used together with time correlated sound measurement data. The FDR-data is to be delivered by Novair (Henrik Ekstrand) while measured noise data will come from ULLA."

"Testing of complete chain– cont. Work Package 6

This part involves a validation of the complete chain – including testing against measurements and FDR-data anticipated in proposed CSA sister projects ULLA and Brantare respectively."

"ULLA

SAFT will support design of the planned measurements, and vice versa with regard to measurements carried out, which results will be applied for noise source model validations."

"Brantare

Beta-versions of SAFT will be applied for studies within Brantare while Brantare will support SAFT with FDR-data and knowledge of system aspects such as operational routines and deviations as well as aircraft configurational issues."

..." SAFT will have a two-way interaction and exchange with the projects ULLA and Brantare"

Komplettering/förtydligande:

Centralt för att nå bästa möjliga resultat i SAFT, vad gäller validering av hela simuleringskedjan: flygplanets konfiguration, drift-tillstånd motorer över simulering av ljudkällor och ljudutbredning till ljudnivå på marken, bedöms vara tillgången på FDR-data (Flight Data Recorder). Ur FDR-data finns möjlighet att plocka fram exakt position, hastighet(er), motorpådrag, klaffläge och landningsställsposition och även vissa meteorologiska data. FDR-data utgör den noggrannast möjliga beskrivningen av ett flygplans trajektoria inklusive alla parametrar

rörande flygplanet. Steget ner till transponder- eller radardata är avsevärt i detta sammanhang då dessa huvudsakligen ger information om flygplanets position.

Men, i vårt eller liknande fall, d.v.s. vid uppbyggnaden och trimningen/valideringen av en flyg-/bullersimuleringskod som SAFT, räcker det troligtvis inte med FDR-data i sig. Här bör man ha tillgång till *tidssynkroniserade ljudmätningar på marken* från motsvarande flygningar från vilka FDR-data härrör för att kunna tillgodogöra sig dessa data för validering av modeller för ljudkällor. Klafflägen och landningsställs (infällt/utfällt) lägen och aktuellt motorpådrag kan då, med hjälp av rådande atmosfärsdata relateras till uppmätta ljudtryckssignaler på marken. Sammantaget är alltså dessa ljudnivåmätningar (planerade i ULLA) av stor vikt för SAFT utöver tillgång till FDR-data.

Tanken är att metodiken och upplägget för ljudmätningar i ULLA tas fram i samråd mellan alla tre projekten SAFT-ULLA-Brantare (behov av mätpunkter/mikrofoner, placering, riktningskänsliga arrayer/identifiering – uteslutning andra källor, mätsystem, bemanning, strömförsörjning, utvärdering – övriga önskemål och krav från Brantare och SAFT på mätdata).

Förutom via mätningar och ULLA kopplar projekten SAFT och Brantare direkt till varandra genom att testversioner av SAFT är avsedda att köras för att simulera och ge input till utvärdering av olika inflygningsfall som konstaterats vara relevanta i Brantare.

På samma sätt förväntas SAFT kunna ge input till ett framtida potentiellt uppföljningsprojekt till Brantare där flygprocedurer med önskvärd bullerprofil definieras med hjälp av SAFT verktyget, och sen utvärderas i verkliga flygningar, vilka i sin tur, baserat på den metodologi som skapas i Brantare, därefter utvärderas med avseende på flygoperativa prestanda.

2. Komplettering med avseende på "Hur tidigare forskning tillvaratas"

Här kan konstateras att de deltagande parter inte bara har en lång och gedigen erfarenhet, både från nationella och EU-projekt, av aktuella forskningsområden, särskilt flygsimulering inklusive detaljerad flygmotorteknik (CTH), strömningsakustik (CTH), fysikalisk beskrivning och modellering av ljudkällor (KTH), atmosfärsberoende ljudutbredning (KTH) utan också praktisk användning av tidigare uppnådda forskningsresultat. CTH i nära samarbete med flygindustrin (t.ex. GKN), KTH-medarbetare har nyligen implementerat sina forskningsresultat och utvecklat ett unikt bullerprognosverktyg som används dagligen inom det svenska försvaret. Dessa exempel på hur utförd forskning tillvaratas genom tillämpning inom industri och myndighetsverksamheter liknar det scenario vi förväntar oss med SAFT. Tidigare forskningsresultat, relaterat till ovan nämnda områden, kommer att vara direkt applicerbara i SAFT vilket möjliggör "ett avstamp" från en redan hög teknisk-vetenskaplig nivå.

3. Komplettering med avseende på: "Hur resultaten kommer att nyttiggöras"

Ur ansökan SAFT:

"Summary

...

Through future studies with the SAFT-tool it is anticipated that adequate means for noise mitigation could be identified. This could be through studies on existing aircraft/air traffic and procedures as well as on future engine/airframe technology or forecasted partly replaced aircraft fleet and their movements"

"Purpose and aims

... noise effects of new approach and take-off procedures, new or modified aircraft engines or configurations, special or typical weather situations ...

... 'noise forecasts' like today's weather forecasts, or for noise calculations in almost real time, partly based on atmospheric data recorded by the aircraft themselves. Studies of the mentioned types could in turn be part of noise mitigation studies, studies related to construction of new runways (including a partly replaced aircraft fleet), building of new residential areas in the vicinity of airports etc. Moreover, by establishing a "physics based" simulation platform like SAFT we also aim to support Swedish aircraft noise research in the long term by providing a framework in which successful research in the field and newly developed techniques can be implemented and utilized."

Raderna från ansökan ovan kan sammanfattas och kompletteras med:

De förväntade resultaten från forskningen och arbetet med att bygga och etablera SAFT-verktyget är:

1. En beräkningsplattform (kallad SAFT) som möjliggör simuleringar av flygoperationer och dess avtryck i form av ljudnivåkonturer på marken som funktion av givna atmosfärförhållanden.
2. SAFT verktyget kommer efter projektets slut att göras tillgängligt för centrets alla partners för att användas praktiskt eller för nya forskningsprojekt. En ambition från KTH och CTH kommer också vara att använda detta verktyg inom ramen för kommande EU-projekt.
3. Med lämpliga förslag på studier, och genomförandet av dessa med hjälp av SAFT, förväntas underlag för bullerreducerande åtgärder kunna skapas. Och i förlängningen även implementeras – till gagn för boende och andra störda av buller kring flygplatser såväl som för verksamhetsutövare samt organisationer och enskilda individer som på ett eller annat sätt är beroende av att flygtrafik kan upprätthållas i önskad omfattning.
4. Syftet är att SAFT görs generellt i den meningen att mer eller mindre godtyckliga framtida flygbullerstudier med verktyget ska vara möjliga. Antingen med aktuell version av programmet eller efter utökning med önskad funktionalitet. I detta inbegrips t.ex. olika typer av studier av framtida flygplans- och motorkoncept (indata för flygbanor, procedurer konfiguration, ljudkällor för olika delar, motor-, klaffar m.m. får i dessa fall i olika grad fastställas utanför SAFT-paketet). Vidare förutses olika operationella studier med befintliga flygplanstyper, både för approach, take-off vara av intresse, möjligen även för olika en-route fall.
5. Utöver dessa koncept- och procedurstudier kommer rena atmosfärs-(väder-)effekt/buller studier med SAFT vara genomförbara och sannolikt efterfrågade. Dessa kan förstås vara intressanta även i kombination med koncept och procedurstudier, t.ex. optimering av flygbanor med avseende på olika atmosfärsprofil-fall. Ett exempel på intressant studiefall är studier/optimering av bananvändarmönster på Arlanda m.a.p. bullerexponering och rådande väder.
6. Vid sidan om ovan nämnda resultat förväntas SAFT även kunna ha rollen som "rygggrad" för metoder applicerbara inom flygbullerområdet. D.v.s. istället för att beräkningsmetoder som utvecklas vid svenska universitet och högskolor ska riskera att "glömmas" bort, trots sin potential, ska SAFT ge möjligheten att dessa kan komma till användning genom koppling och anpassning till SAFT-paketet. På så vis stöttar SAFT även en långsiktighet inom den svenska flygbullerforskningen.
7. Visionen är att SAFT på sikt skall bli internationellt erkänd som en av de bästa tillgängliga modellerna för att modellera flygbuller.

BILAGA 4.

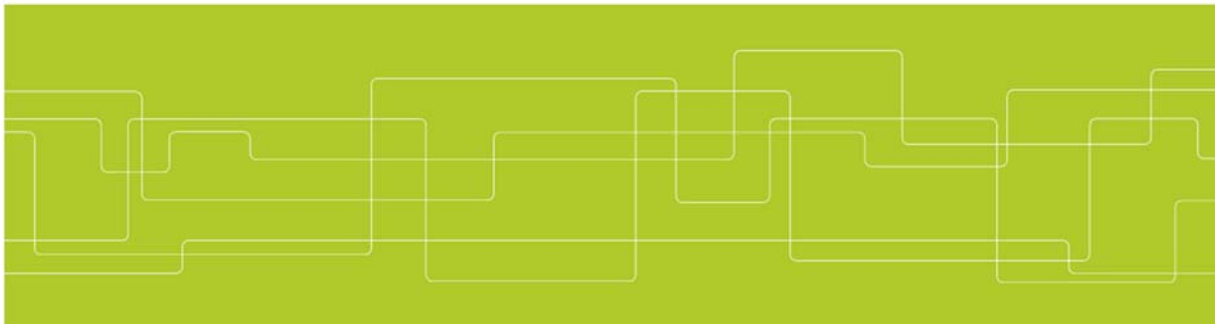
Presentation BNAM juni 2016



KTH ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

SAFT

- Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omgivning
(Simulation of Atmosphere and air traffic For a quieter environment)
Ulf Tengzelius KTH-MWL



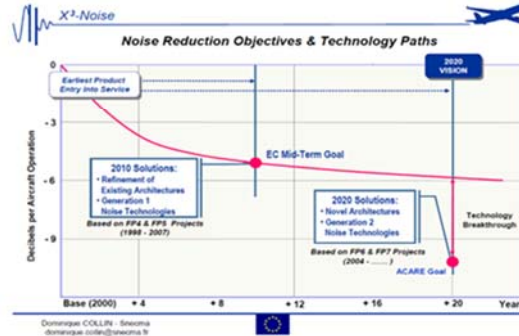
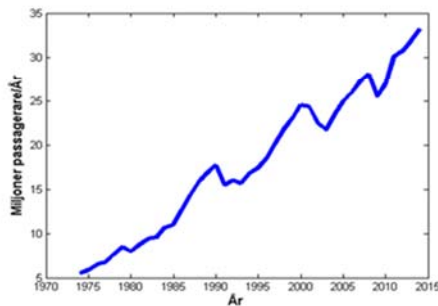
Content

1. Background
2. SAFT objectives
3. Simulation tool vs. "Integrated methods"
4. The planned simulation tool – SAFT
5. Example existing system for weather dependent sound propagation
6. Interaction with other CSA projects
7. Cooperation way to success...?

1. Background – general air traffic noise situation

Air traffic increases ... while expected noise reduction at the source tend to flatten out

Number of passengers per year in Sweden (source: Trafikanalys)



3

cont. 1. Background – CSA Centre for Sustainable Aviation

- Increased noise problems around Arlanda airport - complaints from neighbours
- Renewed environmental permit - legal process - conciliation - support research - CSA formed
- CSA board:
 - Swedish transport administration
 - Swedavia
 - LFV Air Navigation Services of Sweden
 - The Swedish Transport Agency
 - KTH
- SAFT pre-study
- main SAFT application 2 year 30 April – decision 21 June



"Noise Limits" – Guidelines from Swedish EPA: **55 dBA FBN** (outside)
(outside: **70 dBA_{max}***, inside: 30 dB $L_{Aeq(24hrs)}$ or 45 dBA_{max} at night)

FBN 55 dBA
FBN 65 dBA
— permit

where:
FBN = $L_{Aeq(24hrs)}$ levels with noise events at night weighted with a factor 10 and during evenings a factor 3 ($\approx$ DNL)

*) (Disputed) Amendments: if **70 dBA_{max}** is exceeded, it should not be more than
A. 16 times between 06.00 och 22.00, and B. 3 times between 22.00 och 06.00
C. A do not apply for Stockholm (Bromma Airport)

4



cont. 1. Background – Ongoing legal process Arlanda airport

	FBN (DNL) dBA (integrated level)	Max level dBA	Comments and Amendments
Guidelines – Parliament decision 2015-04-09	55	70*	To be applied in processes regarding: - Sound isolation of houses - Environmental permit for airports *) If 70 dBA _{max} is exceeded the following apply – (disputed, might be changed?): 1. Max 16 occasions 06.00 - 22.00, and 2. Max 3 occasions 22.00 - 06.00
Local court judgement Tingsrätt Deldom 2013-11-27		65*	- 65 dBA _{max} governing limit when aircraft could leave SID over populated areas (condition 5) Appeals (among others): - Swedavia: 70dBA _{max} instead of 65, sound isolation > FBN 60 dBA - SNV: 60 dBA _{max} instead of 65, sound isolation > 70dBA _{max}
Royal court judgement Mark- och Miljööverdomstolen 2014-11-21 (into force may 2015)		65*	Still: - 65 dBA _{max} governing limit when aircraft could leave SID over populated areas - sound isolation > FBN 55 dBA, >80dBA _{max} day/evening, >70dBA _{max} night - prohibition regarding straight approaches runway 01R replaced with a softer condition
Local court negotiations Tingsrätt 2016-05-25		65*	Condition 5. Result: no change so far – still 65dB in this special case ...to be continued...?

Condition 5: "Lågflygtrafik får avvecklas dag- och kvällstid (kl. 06-22) utan att följa SID. Tätorter får dock inte överflygas under höjden 1 000 m MSL om den maximala ljudnivån på marken överstiger 65 dB(A)" Swedavia 70dBA, SNV 60dBA

5



cont. 1. Background

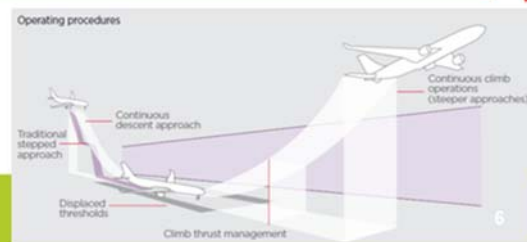
Means to improve the anticipated noise - situation ICAO (2001):



- Reduction/redistribution of noise around the airport
- Enable full use of modern aircraft capabilities
- Various departure & approach procedures:
 - Displaced thresholds (landing/take off positions)
 - Reduced power/drag and CDA (Continuous Descent Approach)
 - Limited engine ground running
 - Noise preferential routes/runways
 - SID¹/STAR² and RNAV³ procedures optimisation and design

SAFT: An aircraft environmental noise simulation tool which enables atmosphere dependencies to be included

- ¹) SID = Standard Instrument Departure
- ²) STAR = Standard Terminal Arrival Route
- ³) RNAV = "Area Navigation" a method of instrument flight rules (IFR) navigation



6



2. SAFT objectives

- Establish a computational platform for aviation noise
- A versatile sound simulation toolbox that can account for the complete chain:
 - flight trajectory –
 - flight mechanics and engine conditions –
 - individual sound sources –
 - atmosphere dependent sound propagation
- Including means for effective gridding, noise mapping and noise event time history presentations
- Support future air traffic noise studies – operations as well as new aircraft concepts
- Generate new knowledge and support dissemination of this as well and finding means for aircraft noise reduction
- In the long term: A “back-bone” for implementation of new methods and research results within the field of aircraft noise – support Swedish research in the field



7



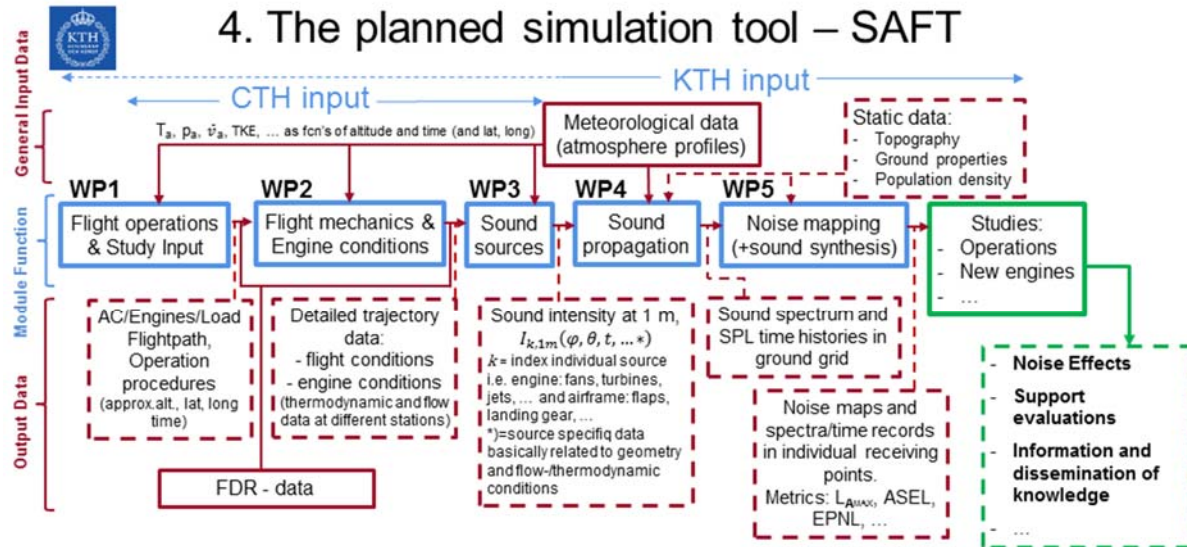
3. Simulation tool vs. “Integrated methods”

- The type of computational tools routinely used for noise mapping around airports are named “Integrated methods”, such as INM or methods like ECAC Doc.29.
- These “Integrated methods” (also called “Segmentation methods”) differs from the “Simulation tools”, like the planned SAFT in the following ways:

	Simulation tools	Integrated tools
Typical application	Single event operations	Combined fleet, yearly mean
Sound source	Separated from propagation Semi-empirical, physics-based Frequency and space resolved	Merged with propagation Measured No spectral and directivity info available
Source data availability	Limited open data available	Very good OASPL data found in the open ANP-database (Noise-Power-Distance, NPD-data)
Sound propagation	Yes - separated from sound source	No - not separated from source
Studies of noise abatement flight procedures	Yes - Possible to simulate	No - or very limited possibilities
Time history for noise events	Yes - Possible to simulate (as well as listening tests based on these)	No – not possible to extract
Atmosphere impact	Yes - Possible to include	No - not included (ANP/NPD data established under certain “standard atm. conditions”)
New technology studies	Yes – possible to simulate new aircraft or engine concepts	No – not possible to include
Computational time	Computationally more “heavy”	Computationally fast

8

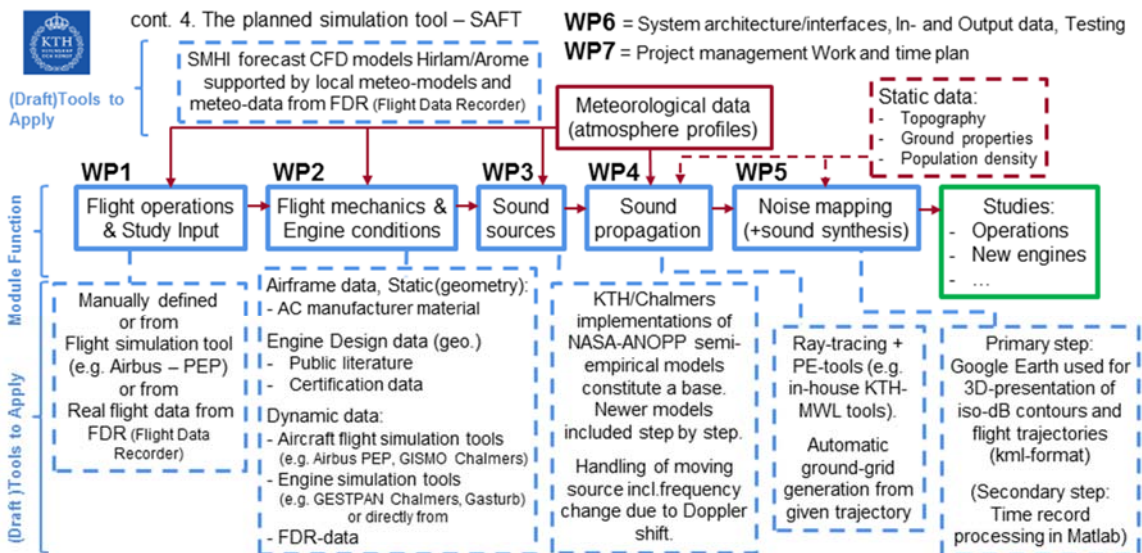
4. The planned simulation tool – SAFT



WP6 = System architecture/interfaces, In- and Output data, Testing of complete chain

WP7 = Project management Work and time plan

9



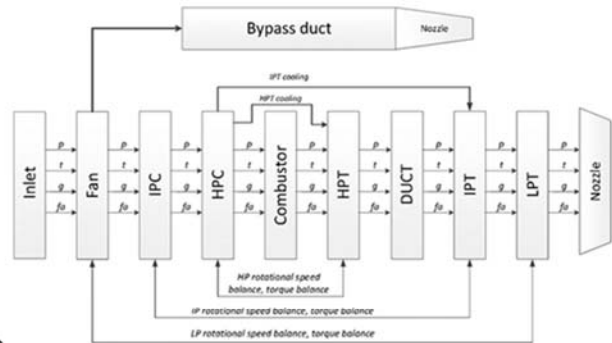
10



cont. 4. The planned simulation tool – SAFT

Flight mechanics & Engine conditions

- Collect public data of engine
- Estimates on the technology level
- Data made available in engine certification tests
- Implement compiled data to model the engine in an engine performance tool
- CTH tool GESTPAN (General Stationary and Transient Propulsion Analysis) - acquire thermodynamic cycle performance data
- Match engine model with open data – in design and off design pts
- Link with aircraft model
- Run aircraft + engine performance model together with a conceptual engine design to establish necessary data needed for noise modelling



GESTPAN (General Stationary and Transient Propulsion Analysis)
Typical Turbofan component model schematic

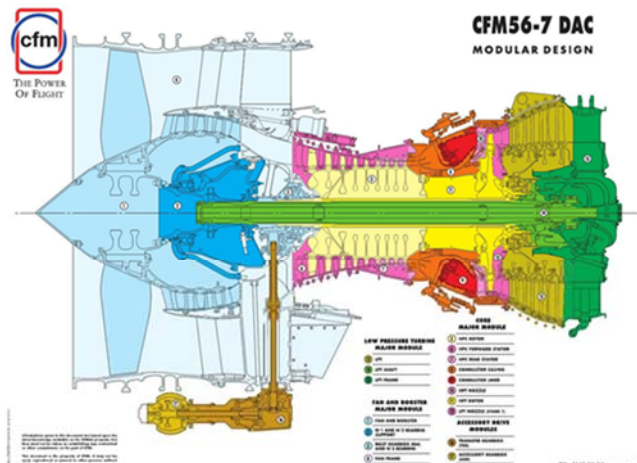
11



cont. 4. The planned simulation tool – SAFT

Flight mechanics & Engine conditions

- Collect weight and geometric data of aircraft configuration
- Establish the aircraft performance in a number of mission segments defining lift and drag estimates as dependent on the current configuration of the vehicle (clean, flaps settings, landing gear down etc.)
- Use tabulated engine data to perform simulations generating noise source input data



12



cont. 4. The planned simulation tool – SAFT

Sound sources

Typical semi-empiric source expression:

$$\langle p^2 \rangle^* = \frac{\Pi^*}{4\pi R^2} \frac{D(\theta, \phi) F(St)}{(1 - M_\infty \cos \theta)^4}$$

Π^* nondimensional acoustic power
 $\mathcal{D}$ directivity function
 F spectral shape function
 M_∞ Mach number
 R^* nondimensional physical propagation distance R (normalized by wingspan)
 θ, ϕ polar and azimuthal directivity angles

$$St = \frac{fL}{M_\infty a_\infty} (1 - M_\infty \cos \theta)$$

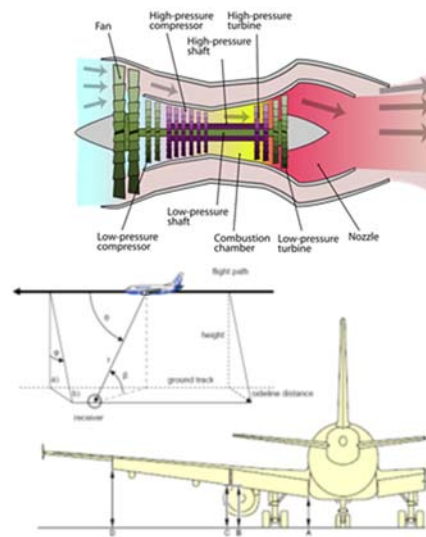
f frequency
 a_∞ ambient sound speed
 L characteristic length of sound source

Engine:

Fan
 Compressor
 Combustor
 Turbine
 Jet

Airframe:

Flaps
 Slats
 Rudders
 (Boundary Layers)
 Landing Gear



13



cont. 4. The planned simulation tool – SAFT

cont. Sound sources

Open data:

- Aircraft Noise and Performance (ANP) Database
- EASANoise Database

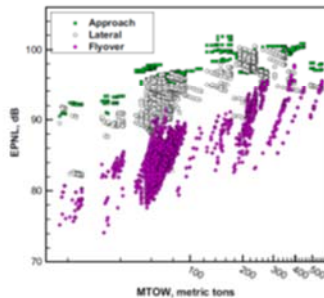


Fig. ref. A. Filippone / Progress in Aerospace Sciences 68 (2014) 27-63

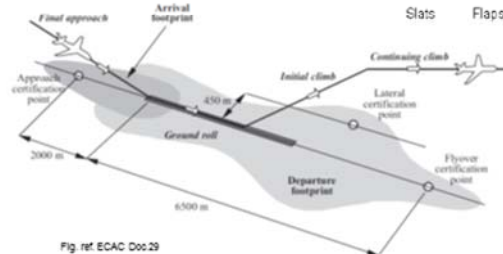


Fig. ref. ECAC Doc29

Aircraft noise source breakdown example

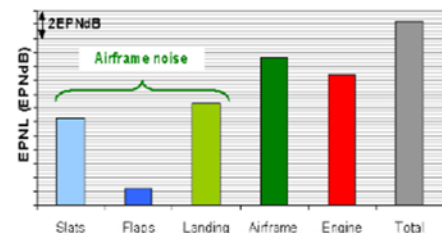


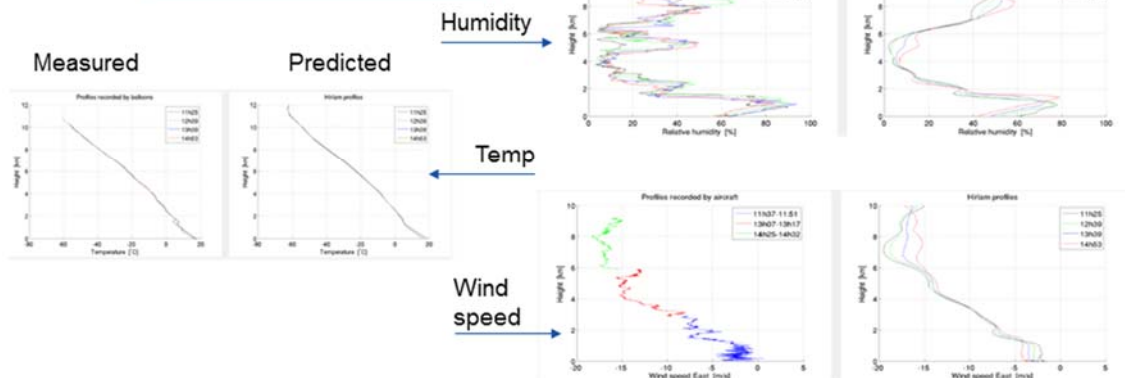
Fig. ref. AIAA/CEAS-2008 Doorzynski DLR

14



cont. 4. The planned simulation tool – SAFT

Meteorological data (atmosphere profiles)



15



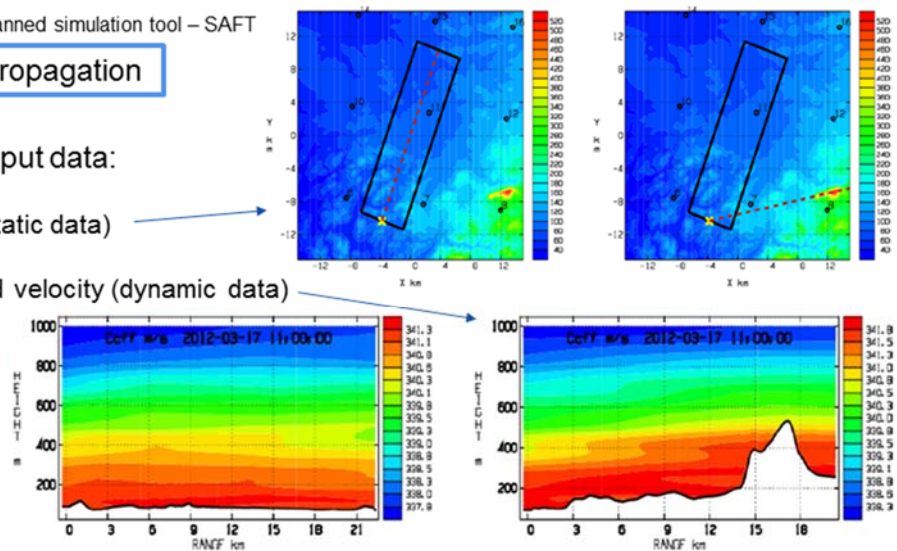
cont. 4. The planned simulation tool – SAFT

Sound propagation

Examples of input data:

Topography (static data)

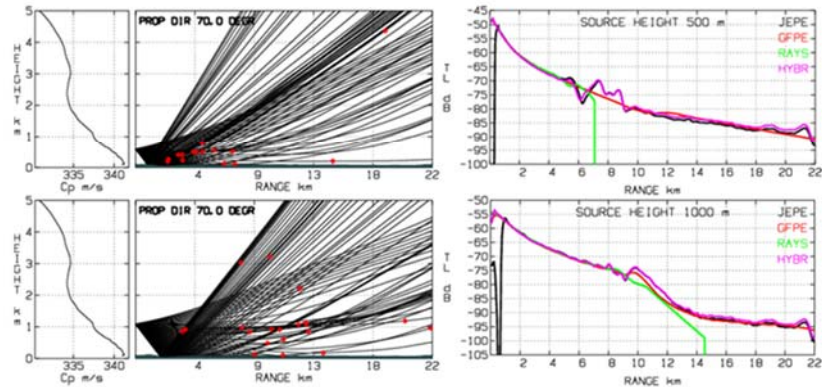
Effective sound velocity (dynamic data)



16

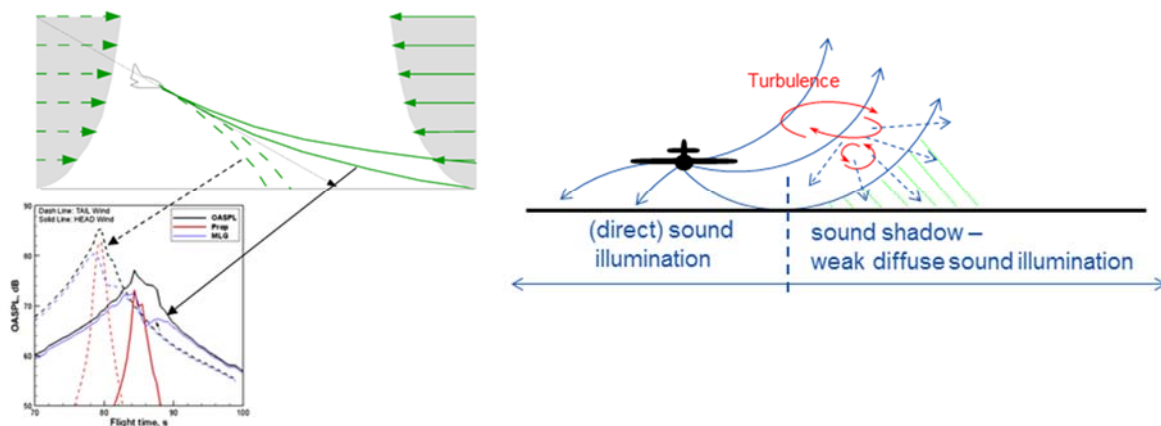
cont. Sound propagation

Examples of output from ray-tracing and different field methods (PE)



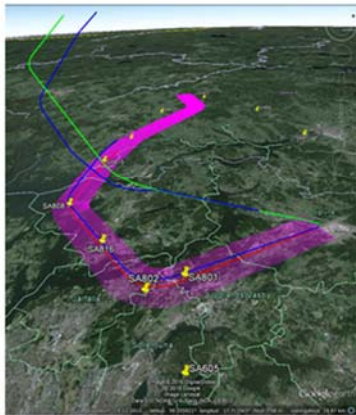
17

cont. Sound propagation



18

Noise mapping

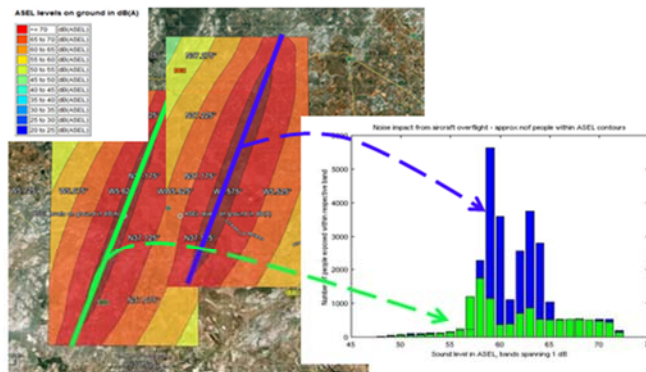


Example test of SAFT pre-study functionality:

- Grid related to ground track
- Noise map for a A320-200 (engine CFM56-5) approach
- Noise source given by a "retrofit"-method based on ANP-data, i.e. source not based on basic physics (thrust simplified to constant 5klbs)
- Underestimation of EPNL-levels due to lack of approach-noise source data in ANP-data base



cont. Noise mapping



Example change of noise impact by translation of route
(translation 5km west and 5km south)



5. Example existing system for weather dependent sound propagation.

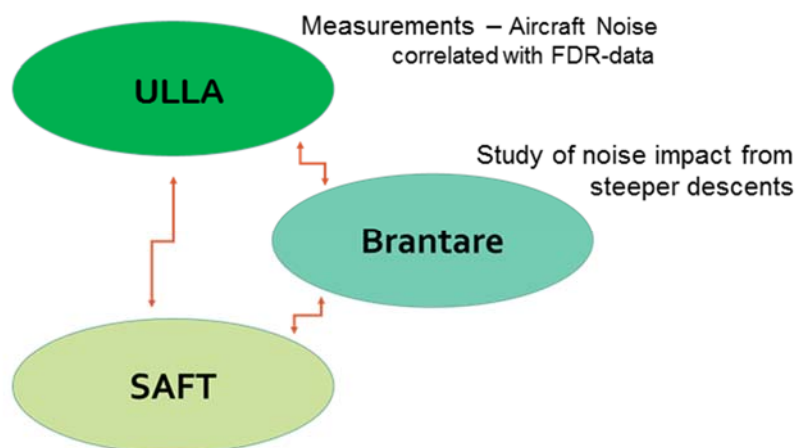
[movie left out due to file size]

Artillery noise forecasting system developed by Ulf Tengzelius and Ilkka Karasalo KTH-MWL.

21



6. Interaction with other CSA project (applications)



22



7. Cooperation way to success...?

- Chalmers – Turbomachinery & Aeroacoustics group has a leading position and long time experience in the fields of gas turbine research and modelling and in the field of CAA (Computational Aero Acoustics)
- KTH-MWL has in the same way a premier position in noise propagation and general acoustics
- By combining our complementary competences in the SAFT-project we believe that we together can achieve the challenging objectives in the project.

Bilaga 5.

Delrapport – Förstudie SAFT, mars 2016

Delrapport – Förstudie SAFT

Simulering av Atmosfär och Flygtrafik för en Tystare omgivning

Ulf Tengzelius (KTH/MWL)

Med stöd av

Johan Rignér (Natmer AB), Bengt Moberg (Vernamack AB)

i frågor rörande flygsystem och flygtekniska frågor

Syfte och bakgrund SAFT

Förstudien SAFT, SAFT(1), bedriven inom CSA syftar till att ta fram riktlinjerna för ett beräknings- och simuleringsverktyg för flygbuller. Verktöget avser att på sikt kunna ta hänsyn till alla de moment i en flygoperation som, tillsammans med rådande atmosfärförhållanden (väder), påverkar det resulterande bullret på marken.

Det framtida beräkningsverktyget syftar till att komplettera s.k. "Integrerade verktyg", som INM och metoder som t.ex. ECAC.Doc29⁶ [1], vilka inte medger en frikoppling av ljudkälla å ena sidan och ljudutbredning å andra. De sistnämnda verktygen är i första hand framtagna i syfte att generera bullerkartor (konturplottar med iso-dB linjer) som representerar den samlade flygtrafiken kring flygplatser på typiskt årsbasis – och inte enstaka flyghändelser. I det sammanhanget – d.v.s. för att åskådliggöra och kvantifiera bullerexponering från en operativ verksamhet över längre tidsperioder, och för att identifiera trender - har INM och liknande verktyg visat sig kunna fylla sitt syfte väl.

Är man i första hand, istället för långtidsmedelvärden, intresserad av att studera, säg effekter av nya in- och utflygningsprocedurer, nya eller modifierade flygmotorer, speciella eller typiska vädersituationer så medför de s.k. "integrerade metoderna" vissa problem. Man vill i dessa lägen nämligen dels kunna frikoppla själva ljudkällorna från ljudutbredningen, men också kunna frikoppla de olika ljudkällorna sinsemellan (t.ex. "jet noise" från "fan noise" respektive "airframe noise"). Dessutom vill man kunna separera ljudet frekvensmässigt, både för att kunna beräkna ljudutbredningen men också för att kunna bedöma graden av störning då ljudet når berörda mottagare på marken. Den här beskrivna typen av studier skulle alltså kunna bli möjliga med SAFT-verktyget. Förutom studier av den här typen skulle SAFT i förlängningen också kunna användas för "Bullerprognoser" liknande dagens väderprognoser eller bullerberäkningar i "nästan realtid" baserat på de atmosfärsdata flygplanen noterar under färd.

Utöver syftet att med SAFT skapa en beräkningsplattform som möjliggör generella beräkningar för olika typer av flygbullerstudier, är ett parallellt syfte också att på sikt etablera ett beräkningsprogram som utgör en "stomme/rygggrad" för möjlig implementering av tidigare och kommande resultat och metoder inom svensk luftfartsrelaterad bullerforskning. Genom detta steg förväntas bättre framtida förutsättningar skapas för utnyttjande, tillgänglighet och förvaltning av relevanta forskningsresultat. Lyckas man med dessa syften skapas just förutsättningar för en tystare omgivning som titeln SAFT föreslår.

⁶ I sammanhanget är det intressant att notera att man i ECAC.Doc 29 från 2005 förespår att "simuleringsmetoder" i framtiden kan komma att utnyttjas inte bara som forskningsverktyg utan även som ersättare till "integrerade metoder": a) "integrated models represent current best practice"[syftande på långtida medelvärden] och: b) "This situation (d.v.s. att "integrerade metoder" används även för långsiktig bullerkartering) may change at some point in the future: 'simulation' models have greater potential and it is only a shortage of the comprehensive data they require, and their higher demands on computing capacity, that presently restrict them to special applications (including research)."

Omvärlden

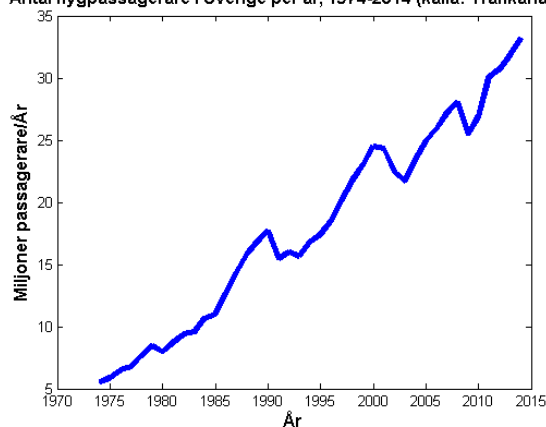
I såväl Sverige som i omvärlden har vi, över ett tidsspänn på mer än 50 år, kunnat konstatera en kraftigt ökad flygtrafik. Den här ökningen bedöms enligt Transportstyrelsen m.fl. fortgå inom överskådlig tid. Till exempel förutspås i [2] en tillväxt med ca 3.5% per år och Trafikanalys [3] visar på statistik som visas i figur 1 nedan. Här ska man komma ihåg att antalet flygrörelser – och bullerhändelser – inte behöver öka i samma utsträckning. I Tyskland har t.ex. antal passagerare ökat med 168 % mellan 1991 och 2014, men antal flygrörelser endast med 57 % [4].

Denna förmodade ökning kommer med all sannolikhet att ske parallellt med att flygindustrins landvinningar avseende ljudreduktion⁷ fortsatt kommer att plana ut (Se figur 2 nedan från [5]). Utan nytänkande och innovationer i kombination med tillräckliga resurser, som på sikt kan generera lösningar och lättnader inom flygbullerområdet, riskerar denna trend att skapa ökade spänningar mellan olika privatintressen, intresseorganisationer, privata och statliga aktörer inom flyg-, miljö-, boende- och andra samhällsområden.

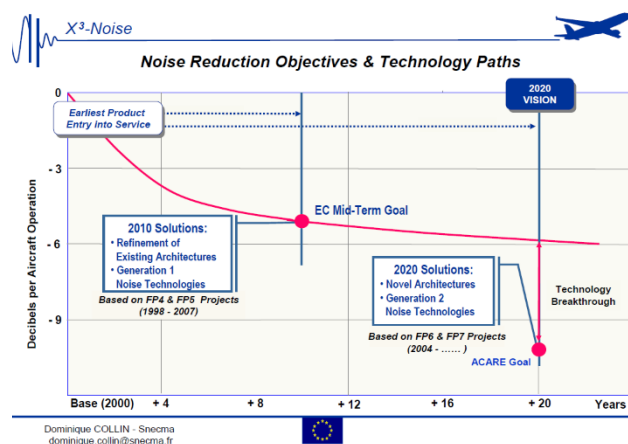
Vid sidan om de oerhörda forskningsmedel som avsatts till flygindustrin i bl.a. Europa för utveckling av "tystare flygplan" har på senare tid ett större intresse för att utveckla "tystare procedurer" och flygtrafikledning syftande till "tystare flygoperationer" kunnat följas. I linje med detta mönster tycks också ett delvis "nyvaknat" intresse att bygga simuleringsprogram liknande vårt tänkta SAFT. Dessa satsningar hör sannolikt också ihop med ett ökande behov av att bättre förstå flygbullermekanismerna i sin helhet, nu när varje vunnen dB tenderar att kräva allt större insatser. Men aktiviteterna är nog också avhängiga av den kraftiga förbättringen i datorkapacitet och beräkningsprestanda under 2000-talet.

Ett exempel på ett äldre simuleringsprogram – men som fortfarande används och utvecklas, sannolikt det mest omfattande och välkända av dessa program, är: ANOPP1+2 från NASA med rötter från ca 1975/80 [6]. Ett exempel på ett äldre europeiskt, med inte på långt när lika höga ambitioner som ANOPP (och utan försök till fysikalisk modellering av källan): FLULA från Schweiz, 80-tal (34). Mer nyligen etablerades den kommersiella koden SOPRANO av Anotec i Spanien vilken nyligen nyttjades i Clean-Sky projektet ARMONEA [8]. ONERA och NLR tycks ha lagt stor vikt vid återskapande och syntetisering av ljud från bullerhändelser/flygpassager i sina koder CARMEN [9] respektive VCNS [10]. University of Manchester tycks ha nått långt med sin kod FLIGHT [11] liksom DLR med sin PANAMA [12].

Antal flygpassagerare i Sverige per år, 1974-2014 (källa: Trafikanalys)



Figur 1. Antal flygpassagerare i Sverige 1974-2014



Figur 2. X3-noise Målsättning ljudreduktion vid källan

⁷ Räknat som "antal vunna dB vid källan"

SAFT – funktionsblock och data

I nuläget, februari 2016, ser vi att det framtida SAFT-paketet bör innehålla eller stöttas av följande funktionaliteter och möjligheter att hantera data:

PRIMÄRA INDATA

- I. **Flygbanor (trajektorier)** med kopplade data, flygtillstånd (t.ex. orientering, klaffsättning, motorpådrag, flyghastigheter- enl. olika definitioner) - en flygbana för varje körning
- II. **Atmosfärdata** (från väderprognos sondering eller FDR⁸-data) – dynamiska data (timmar)
- III. **Flygmotordata** – statiska data (fix modell av resp. flygmotortyp) och dynamiska data (pådrag och gasdata i motorn, tidsupplösning sekunder kopplat till flygbana)
- IV. **Flygplansdata** - höglyftsanordningar, landningsställ - statiska data (t.ex. klaffareor) och dynamiska data (t.ex. vinkel klaffsättning för varje tid-/trajektoriepunkt)
- V. **Ljudkälla** representerande flygplanet i varje tid-/trajektoriepunkt – dynamiska (sekunder)
- VI. **Markdata** – topografi, marktyp/akustisk markimpedans, bakgrundskarta – statiska data
- VII. **Befolkningsdata** – antalet boende respektive arbetande inom diskretiserade markområden – statiska data

PRIMÄR FUNKTIONALITET

A. **Generering av flygbanor** utifrån:

1. Flygsimulering, manuell modifiering av befintliga flygbanor eller manuellt skapande av banor från grunden
2. Läsning av befintliga trajektorier på kända format, t.ex. från FDR-data eller radar-data

B. **Generering av bullerkälla** som är riktningsberoende (vinkeln ϕ lateralt kring roll-axeln, och vinkeln θ longitudinellt) och frekvensberoende (typiskt högsta upplösning i normalfallet i tersband, 1/3-oktaver)

Två olika noggrannhetsnivåer kan i nuläget bedömas kunna komma till användning här:

1. En s.k. retro-fit metod baserad på ANP-databasen – en klar förbättring gentemot INM men behäftad med likande problem med att simulera inflygningar ("fan-noise" dominerade i motsats till "jet-noise" dominerade starter och utflygningar).
2. En fullt ut fysikaliskt baserad simuleringsmodell, liknande upplägget i NASAs ANOPP, d.v.s. med varje individuell ljudkälla separat modellerad och kvantifierad (interpolerad från en drifttillstånd – källstyrkematris). Interpolationsmatriser fastläggs med hjälp av semi-empiriska modeller för de olika ljudkälltyperna. "Jet noise", "Turbine-noise", "Landing gear noise" m.fl. För denna typ av bullerkälla krävs en simulering även av studerad flygmotortyp vilket i sin tur förutsätter en existerande flygmotor modell, d.v.s. ett stöttande behov enligt pkt. C. nedan av:

C. **Etablering av (matematiska) flygmotormodeller** representerande specifika flygmotorer (fabrikat och modell)

D. **Beräkning av atmosfärsberoende ljudutbredning.** Här kan olika nivåer av noggrannhet och komplexitet utnyttjas vid val av algoritmtyp. Närmast förestående förefaller strålgång i dagsläget.

E. **Beräkning av olika ljudnivåmått** (olika tidsintegrerade mått som SEL, momentana som L_{Amax} och A-vägda tidsmått och spektra)

⁸ FDR : Flight Data Recorder

- F. Beräkning av antal boende/arbetande inom givna iso-dB band**
- G. Presentation av utdata** Här används i första hand Google Earth (GE) för presentation av flygbanor och konturlinjer i valda bullerenheter (dB_{Amax}, SEL, ...)
- H. Övergripande struktur**, val av programspråk, logik och hantering av in- och utdata samt interna variabler. Vilken funktionalitet ska byggas in respektive läggas utanför huvudkoden?
- I. Identifierade behov av stödfunktioner:**
- Koordinatsystem och koordinattransformationer
 - Interpolationsmetodik (trajektorier/tid, motordata/källmatriser, konturkurvor (iso-dB) över icke konforma markgrid, ...)
 - Grid generering – anpassning av marknät för mottagarpunkter ljud m.a.p. flygbanor m.m.
 - Effektiv sortering av ljudhändelser över resp. markgrid-punkt
 - Övergång polära nät (från ray-tracer) till rektangulära nät (markgrid för konturkurvor)
 - Algoritmer för data reduktion – glesa matriser
- J. Möjlig framtida funktionalitet att beakta:**
- Auralisering - ljudsyntetisering, tersband (smalare?) + toner transformeras till tidssignaler
 - Lyssningstest
 - Visualisering data och informationsspridning, publik del?

PRIMÄRA UTDATA

- I. Iso-dB konturer** baserade på olika ljudnivåmått på kartunderlag eller som kml-filer för presentation i GE.
- II. Historik ljudnivåer** (totala eller spektrala) i respektive gridpunkt.

SEKUNDÄRA UTDATA

- III. På sikt: tidssignaler möjliga att använda för psykoakustisk bedömning** från lyssnarpaneler
- IV. Strålgångsdiagram** eller motsvarande från fältmetodbaserade ljudavstrålningsberäkningar
- V. Atmosfärdata diagram**
- VI. Specifika skräddarsydda data** för aktuella studier

Ovanstående in- och utdata samt funktionalitetsbehov kommer att specificeras mer i detalj, kompletteras och modifieras fram till slutrapporten för SAFT(1) nu i juni (2016).

Utöver den nämnda kompletterande funktionaliteten kommer det att finnas ett starkt behov av validerande mätningar både för själva kodpaketet i SAFT och för olika studier som t.ex. systerstudien Brantare. Krav och önskemål på den här typen av fältmätningar kring t.ex. Arlanda kommer att utvecklas specificeras under andra halvan av denna förstudie SAFT(1).

Utfört arbete fram till och med februari 2016

Under första halvan av pågående förstudie har en litteraturstudie bredd inom området flygbullersimulering genomförts och parallellt med denna workshops och arbetsmöten med Vernamack och Natmer (huvudutförare av förstudien Brantare i vilken även KTH-MWL deltar). Andra möten har hållits med Swedavia för att utväxla erfarenheter och starta en dialog kring datautbyte

(Swedavias fixa mätpunkter, radarspår, INM beräkningar, ...). Förutsättningarna för detta datautbyte tycks mycket goda och fortsatta möten är aviserade.

Arbetsmötena med Natmer och Vernamack har varit mycket givande för KTH-MWLs del, inte minst för att flygsystemrelaterade frågor med koppling till SAFT snabbt har kunnat få insiktsfulla svar – något som inte skulle ha varit möjligt via litteratursökning utan personliga möten.

I närtid ligger bl.a. möten med Finavia samt expertis inom flygmotorområdet planerade.

Vid sidan av nämnda orienterande arbete har även inledande programmering genomförts. Här har siktet varit på att börja bygga ett "mini-SAFT" dels med syftet att identifiera kopplingar till flygsystemfrågor samt dels för att hitta okända svårigheter och kunskapsluckor. I princip kan man med "mini-SAFT" i dagsläget utföra följande:

1. Lägga in en flygbana som funktion av t , lat , long höjd, hastighet
2. Skapa ett markgrid under denna
3. För flygbanan kan man: i varje punkt tillskriva den en akustisk källstyrka som funktion av φ , θ och frekvens
4. Skapa en ljudkälla med hjälp av ANP-databasen och "retrofit"-metod baserad på IMAGINE/EMPA-metod [13] grundad på valet Approach/Departure samt givet gaspådrag
5. Läs in en atmosfärsfil på "HIRLAM-format" och skapa önskade atmosfärsdata
6. "Köra ljudkällan enligt flygbanan" och generera tidstaggade frekvensberoende bullerhändelser med förenklad rak strålgång i samtliga markgridpunkter (d.v.s. icke refraktiv ljudutbredning) med hänsyn tagen till atmosfärsdämpning (kopplat till atmosfärsdata)

Inom kort:

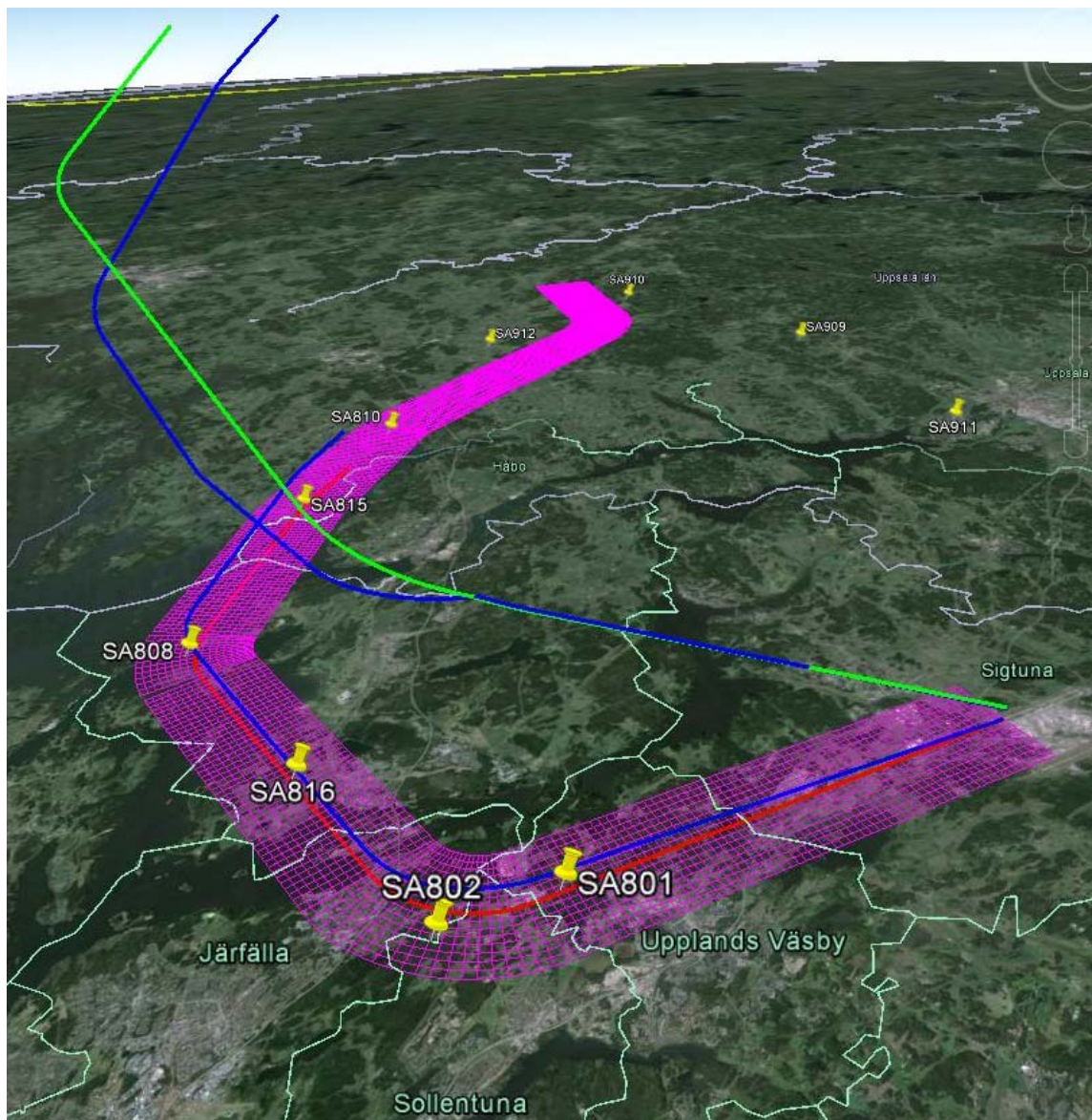
7. Sortera bullerhändelser effektivt för varje gridpunkt och reducera datamängden
8. Integrera över tid till SEL (Sound Exposure Level)
9. Generera bullerkonturer internt i Matlab och i GE.

... och till förstudiens avslut:

10. Första implementering och körning av refraktiv/avböjande ljudutbredning
11. Testkörningar i linje med Brantare-upplägg

Ett exempel på ett testfall som lagts in i nuvarande "mini-SAFT" är två flygbanor från EU-projektet SOURDINE-II [14], en "normal" approach och en CDA⁹. Dessa har anpassats till inflygning på Arlanda Bana 01L från väst (inflygning via ELTOK). Exempel på grid och flygbanor visas i figur 1 nedan.

⁹ CDA=Continous Descent Approach



Figur 3. Exempel på "godtyckliga" flygbanor inlagda i GE tillsammans med anpassat markgrid.

Förklaringar:

purpur = markgrid (där ljudnivåer kommer att beräknas).

röd="groundtrack"

blå, undre = "normal inflygning" enl. Sourdine-II skalenlig

blå övre = "normal inflygning" höjd ökad en faktor 10 för att lättare se skillnader mellan flygbanor

grön= CDA-inflygning enl. Sourdine-II ökad en faktor 10

(gula "nålar": radiofyrar/waypoints)

Slutsatser på hittills utfört arbete samt något om resterande insatser

Kopplat till tidigare indelning i indata-, funktionalitet osv kan följande noteringar göras efter hittills utfört arbete:

I. Flygbanor med relaterade data

Tack vare samarbetet och det ömsesidiga beroendet mellan Brantare/SAFT tycks det vara möjligt att få tillgång till FDR-data. För dessa FDR-baserade trajektorier kommer det alltså bli möjligt att inte bara få exakta rumskoordinater, flygplansorientering, olika hastigheter utan också vissa meteorologiska data. Av kontakter med utvecklare av andra simuleringsprogram att döma är det nere i Europa svårt att få loss FDR-data på motsvarande sätt. KTH, och CSA, tycks i detta avseende, vad gäller högkvalitativa indata, ha en förhållandevis mycket god position.

Å andra sidan, utfaller detta med FDR-data inte som önskat försvåras såväl testsimuleringar som "skarpa" simuleringar i Brantare (fortsättning) avsevärt. Något som i så fall måste adresseras och lösas på ett tidigt stadium.

Ett alternativ till FDR-data från verkliga flygningar är att skapa i stort sett motsvarande variabel/datauppsättning via simuleringar med Airbus PEP [15] (återigen möjliggjort tack vare samarbetet med Brantare).

II. Atmosfärdata

Behovet av atmosfärdata kan alltså som det ser ut nu till stor del tillgodoses av FDR-data, men även i de fall som gäller "redan flygna flygbanor", där vi har tillgång till FDR-data, gäller med all sannolikhet att dessa saknar åtminstone vissa data som är önskvärda för en "fullständig" ljudutbredningsberäkning. Detta gäller TKE (Turbulent Kinetisk Energi) – en storhet som inbegrips i de storskaliga CFD-beräkningar som ligger bakom t.ex. SMHI:s väderprognoser. TKE:n, eller motsvarande, är nödvändig för att kunna göra uppskattningar av ljudenergispredning in i s.k. akustiska skuggzoner. D.v.s. områden där man med konventionella beräkningsmetoder, med såväl fält- som med strålgångsmetoder, får försumbar (eller ingen) ljudenergi att tränga ner – detta trots att man i verkliga fall typiskt får "endast" 10-30 dB lägre ljudnivåer där jämfört med i närliggande ljudbelysta zoner (och inte säg >100 dB lägre med fältmetoder eller "0" ljudenergi som med strålgångsberäkningar). För att kunna uppskatta ljudnivåer i skuggzoner krävs, utöver indata i form av energin i turbulensen och dess fördelning, i första hand i höjdd, också någon form av modell för denna turbulenta spridning av ljudet. På KTH-MWL har vi god erfarenhet av ett par olika sådana. I en implementering av atmosfärsberoende ljudutbredning från artilleri åt Försvaret, som nuvarande medarbetare på KTH-MWL ansvarade för, implementerades en speciell strålgångsmodell för skuggzoner med mycket gott resultat [16], [17]. Indata (för samtliga atmosfärdata) levererades av SMHI med stöd av deras HIRLAM-modell. Det ligger nära till hands att i ett fortsatt SAFT i ett första steg vad gäller ljudspridning p.g.a. atmosfärsturbulens initialt hålla sig till strålgång och Lams s.k. TSSR-modell eftersom denna kräver endast en extra deterministisk beräkning för varje skuggzon (i 2D). Detta i motsats till "klassiska" skuggzons/turbulens-modeller som är stokastiska till sin natur och därför kräver "N" upprepade beräkningar för att konvergera "tillräckligt" mot sitt väntevärde.

Vidare gäller att atmosfärdata i SAFT antagligen bör uppdateras till den av SMHI nyligen introducerade – och förfinade – modellen: AROME. SMHI är förutom leverantör av data också en tänkbar partner vad gäller modellering av lokala väderförhållanden kring flygplatser som komplement till AROME.

III. Flygmotordata och C. Etablering av (matematiska) flygmotormodeller

Beteckningen "flygmotordata" används här som samlingsnamn på två olika typer av data. *Dels för de statiska flygmotormodeller som i första hand beskriver en viss turbo-fan motors geometri.*

Dessa data används sedan som input i fristående program, som t.ex. GasTurb [18], för generering av den andra typen av flygmotordata som fås som resultat vid simulering av termodynamiken (tryck och temperatur) och massflöden för olika stationer i de specifika gasturbinmodellerna av typen ovan, givet de randvillkor som beräkningarna baseras på.

Båda typerna av data krävs som input för att vid givna drift-/flygtillstånd användas som input i de olika modulerna för källbuller, "fan-noise", "compressor-noise", "combustion-noise", "core-noise", "turbine-noise", "jet-noise". Beroende på hur avancerad aktuell källmodell är avgörs om data från motorsimulering och motorgeometri också är tillräckliga i respektive fall.

Möjligen kan man i fall där vi kommer att ha tillgång till FDR-data kunna reducera behovet av modelleringen enligt ovan. I vilken utsträckning det kan vara möjligt vet vi dock inte ännu men vi räknar med att detta skall vara utrett fram till förstudien SAFT:s slutrapport i sommar (2016).

I fallet flygmotordata och gasturbinmodellering har vi att göra med de delar av SAFT-paketet där KTH-MWL saknar egen kompetens och behöver komplettera projektgruppen med kunnande utifrån. Vår nuvarande bild av hur motordata ska införlivas i SAFT-koden är enligt den tänkta gången nedan:

- En första flygmotortyp väljs, t.ex. CFM56-7 som ofta är den som används på senare Boeing737, vilket är den vanligaste flygplanstypen som trafikerar Arlanda i dagsläget (motorn i varianten CFM56-5 är ett alternativ även på Airbus320).
- För denna motor samlas data över bl.a. geometrier. Detta moment bedöms för tillfället som ett av de mest osäkra i hela SAFT-paketet. Dessa data är nämligen inte öppna, d.v.s. utan kontakter med flygmotortillverkare tvingas man via (skalenliga) sprängskisser i litteraturen och på internet, samt lite "reversed engineering", skapa en simuleringsmodell i GasTurb eller liknande program.
- Med en etablerad motormodell körs denna över hela drifttillståndsrymden med lämpliga inkrement i motorpådrag (effekt i kW).
- Redan här måste sannolikt hänsyn tas till "bleed", d.v.s. de gasflöden som tappas av för att driva avisningssystem, tryckkabin och andra pneumatiska system på flygplanet – dessa avtappningar av energi ser olika ut för en och samma motormodell monterad på olika flygplansmodeller).
- Utdata från dessa körningar svarar nu (förhoppningsvis) mot de indata som de olika ljudkällemodellerna kräver. Vi kan efter dessa körningar sätta upp vektorer, $Y(Thr_i)$, 2D - eller flerdimensionella matriser, $Y(Thr_i, x, \dots)$ med data för diskreta motorpådrag eller motorpådrag och någon eller några andra parametrar, t.ex. temperatur eller tryck, för den position i eller utanför motorkanalen som avses.
- Med dessa matriser fastställda är nu tanken att vi i varje godtycklig flygbanepunkt – för det givna motorpådraget snabbt kan skapa indata till respektive motor-buller källa (och därmed kvantifiera ljudavstrålning, "köra ljudavstrålning" och skapa iso-dB konturplottar).

Detta förfarande får sedan upprepas för varje flygmotortyp som ska implementeras i SAFT. Här gäller att även en tidigare implementerad motortyp – men nu i en annan flygplanstyp – kommer

att behöva ses över och dess interpolationsmatriser sannolikt behöva ny-genereras på grund variationer t.ex. i "bleed" mellan varianterna.

VII. Flygplansdata

Kort kommentar:

"Flygplansdata" gäller i första hand fram- och bakkantsklaffar, roder samt landningsställ, d.v.s. de delar av ett flygplan som tenderar att generera det kraftigaste s.k. "air-frame"-bullret (p.g.a. kraftig avlösning – i motsats till laminär strömning t.ex. över en icke "deployed" vinge).

I motsats till enklare ljudkällor, säg en högtalare eller en smällare, är dessa ljudkällors ljudgenereringsmekanismer, liksom även de som härrör från motorljud ovan, kopplade till turbulenta mekanismer som inte tillåter analytiska lösningar. Vi har här ofta att göra med semiempiriska skalningsmodeller baserade på fysikaliska grunder, som har kalibrerats mot olika lab-försök. Det kan vara värt att notera CFD (Comuterised Fluid Dynamics) inte är direkt tillämplbart i sammanhanget p.g.a. de storleksordningar större beräkningstiderna – däremot är flera av de semi-empiriska ljudkällemodeller man finner i litteraturen stöttade med både mätningar och CFD-beräkningar.

VIII. Ljudkälla och övriga punkter (utom Ljudutbredning och Mätningar)

Olika förslag till bl.a. ljudkällemodeller kommer att gås igenom och redovisas i slutrapporten tillsammans med krav på indata till dessa modeller. Motsvarande gäller övriga berörda (och eventuellt nytillkomna punkter under in-/utdata och funktionalitet)

Ljudutbredning (kort om ...)

KTH-MWL har en lång erfarenhet av beräkningar av atmosfärsberoende ljudutbredning. Såväl olika strålgångsmetoder som fältmetoder har utvecklats och implementerats. I dagsläget tycks huvudspåret strålgång (ray-tracing) ligga närmast tillhands för implementering i SAFT. Fördelar med strålgångsmetoder framför t.ex. PE (Parabolic Equation) baserade metoder är att de i allmänhet är snabbare och medger en enklare implementering av rundstrålande ljudkällor. PE och andra fältmetoder som FEM (Finita Element Metoder) kan också komma till användning men kanske främst för validering och andra specialstudier snarare än som huvudmetod i SAFT. Principen för "Bullerprognoser" – på motsvarande sätt som för "Väderprognoser" - som är tänkt att kunna förverkligas med SAFT kan sägas ha sina rötter i det tidigare berörda verktyg som medarbetare vid KTH-MWL har tagit fram för FMV:s och Försvarmaktens räkning [19], och som idag används rutinmässigt vid två av Sveriges största skjutfält.

Mätningar

Förutsättningar och förslag på upplägg och instrumentering för flygbullermätningar kopplade till SAFT och Brantare kommer att redovisas i slutrapport i juni 2016.

Osäkerheter

För närvarande bedöms följande två punkter som de mest kritiska i fortsatt arbete:

- Tillgänglighet av data för etablering av "geometriska" flygmotormodeller, riskerar företagssekretess att vara ett hinder eller finns tillräcklig information på nätet/i litteraturen?
- Validering av individuella och summerade ljudkällemodeller.

Referenser

- [1] ECAC. Doc 29, 2005.
- [2] Trafikverket, "Prognos 2015-2021 Trafikprognos Luftfart Dnr TSL 2015-1331," 2015.
- [3] Trafikanalys, [Online]. Available: <http://www.trafa.se/luftfart/>.
- [4] Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft, [Online]. Available: <http://www.bdl.aero/en/bdl-reports-en/aircraft-noise-report/>.
- [5] D. Collin SNECMA/X3-Noise, "Aircraft External Noise Network- Achievements and Future Activity," [Online]. Available: http://www.aerodays2006.org/sessions/A_Sessions/A3/A31.pdf.
- [6] Z. W.E., "Aircraftnoise prediction program (ANOPP) theoretical manual -Part 1 Technical Report TM83199," NASA, 1982.
- [7] EMPA, Acoustics Bütikofer, R. m.fl., "FLULA - SWISS AIRCRAFT NOISE PREDICTION PROGRAM," Acoustics 2002 - Innovation in acoustics and vibration, 2002.
- [8] Anotec m.fl., "Final Report Summary - ARMONEA (Anotec Real-time MODEL for Noise Exposure of Aircraft)," 2014. [Online]. Available: http://cordis.europa.eu/result/rcn/140826_en.html.
- [9] ONERA CARMEN, "<http://www.onera.fr/en/news/iesta-use-carmen-module>".
- [10] NLR VCNS,
"<http://www.nlr.nl/downloads/F363%20Virtual%20Community%20Noise%20Simulator.pdf>".
- [11] A. Filippone, "Aircraft noise prediction," *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 68, pp. 27-63, 2014.
- [12] L. Bertsch m.fl., "The Parametric Aircraft Noise Analysis Module - status overview and recent applications," *17th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference Portland Oregon*, 2011.
- [13] EMPA ,R. Bütikofer, "Default aircraft source description and methods to assess source data," IMAGINE project 6th Framework Programme IMA4DR-061204-EMPA-10, 2006.
- [14] NLR Ruud den Boer, "SOURDINE-II: Some aspects of the assessment of Noise Abatement Procedures, 6th USA / Europe ATM R&D Seminar," Baltimore, USA, 2005.
- [15] Airbus, "Performance Engineer's Programs for Windows Version 5.6.1".
- [16] Y. W. Lam, "An analytical model for turbulence scattered rays in the shadow zone for outdoor sound propagation calculation," *Journal of the*, vol. 125(3), p. 1340-1350, 2009.
- [17] Ulf Tengzelius, Ilkka Karasalo , "Sound in shadow zones due to atmospheric turbulence - comparison of ray-based predictions with experimental data," i *Atmospheric and Ground Effects on Aircraft Noise*, Sevilla, 2013.
- [18] "<http://www.gasturb.de/>," [Online].
- [19] Ulf Tengzelius, Brodd-Leif Andersson, "Artillery shooting noise prediction tool for the Swedish Armed Forces," i *BNAM, Baltic Nordic Acoustic Meeting*, Tallin, 2014.