

Slutrapport projekt ERAS

Stockholm, 15 juni 2022

Sammanfattning

ERAS (Evaluation of Realistic Approach Scenarios) är ett projekt som genomförts inom ramen för Centrum för hållbar luftfart vid Kungliga Tekniska Högskolan. Projektet har finansierats av Trafikverket.

Syftet med ERAS har varit att öka kunskapen rörande möjligheter att utföra den slutliga delen av en inflygning på ett sätt som är gynnsamt både med avseende på CO₂-utsläpp och buller och som är flygoperationellt möjligt att genomföra med ett antal olika flygplanstyper.

Projektets syfte har uppnåtts genom att tolv olika inflygningsprocedur har testats för vardera nio olika flygplanstyper. Sammantaget har 108 inflygningstester genomförts i flygsimulatorer (Full Flight Simulators, FFS). För en flygplanstyp gjordes detaljerade bullerberäkningar från alla tolv inflygningar. Resultaten från de detaljerade bullerberäkningarna jämfördes därefter med flygoperativ data och bullerdata för de åtta övriga flygplanstyperna från databasen Aircraft Noise and Performance (ANP) som i Sverige normalt används för bullerberäkning, varvid det konstaterades att buller kan förväntas variera på samma sätt för de åtta flygplanstyperna som för den i detalj studerade flygplanstypen. Även data rörande bränsleförbrukning och flygoperationell genomförbarhet dokumenterades för alla studerade flygplanstyper.

Slutsatsen är att det finns möjligheter att på en aggregerad nivå minimera både buller och CO₂ vid inflygning till flygplatser genom att tillåta de ankommande flygplanen flyga så länge som möjligt med en fart tillräckligt hög för att slippa fälla ut lyftkraftshöjande anordningar, dvs. fram- resp. bakkantsklaffar, för att därefter låta motorerna vara på tomgång och genom att fälla ut klaffar och landningsställ bromsa ner flygplanet till den fart som krävs för att genomföra en inflygning och landning i enlighet med konceptet "stabiliserad inflygning".

ERAS har byggt på samverkan med övriga projekt inom ramen för Centrum för Hållbar Luftfart. Projektet har tagit del av resultat och kompetens från övriga projekt såsom Brantare, ULLA, SAFT, OPNOP, ANT och CIDER samtidigt som ERAS har bistått de andra projekten inom centrumet med deras behov av flygdata och flygoperativ kompetens.

Summary

ERAS (Evaluation of Realistic Approach Scenarios) is a project carried out within the framework of the Center for Sustainable Aviation at the KTH Royal Institute of Technology. The project has been financed by the Swedish transport administration.

The purpose of ERAS has been to increase knowledge regarding opportunities to perform the final part of an approach in a way that is favorable both in terms of CO₂ emissions and noise and that is flight operationally possible to be implemented for a number of different aircraft types.

The purpose of the project has been achieved by testing twelve different approach procedures for each of nine different aircraft types. A total of 108 approaches have been performed in Full Flight Simulators (FFS). For one aircraft type, detailed noise calculations were made from all twelve approaches. The results from the detailed noise calculations were then compared with flight operational data and noise data for the eight other aircraft types from the Aircraft Noise and Performance (ANP) database, normally used in Sweden for noise calculation, whereby it was found that noise can be expected to vary in the same way for the eight aircraft types as for the aircraft type studied in detail.

Data on fuel consumption and flight operational feasibility were also documented for all aircraft types studied.

The conclusion is that there are opportunities to minimize both noise and CO₂ at an aggregated level when performing approaches to airports by allowing the arriving aircraft to fly as long as possible at a speed high enough to avoid extension of high lift devices, i.e. leading- or trailing edge flaps. Aircraft speed is then reduced with engines in idle, by the extension of flaps and landing gear in order to perform an approach and landing in accordance with the "stabilized approach" concept..

ERAS has built on collaboration with other projects within the framework of the Center for Sustainable Aviation at KTH and the project has received results and competence from other projects such as Brantare, ULLA, SAFT, OPNOP, ANT and CIDER, while ERAS has assisted other projects within the center with their needs for flight data and flight operational competence.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
1 Projektbeskrivning.....	5
2 Genomfört arbete	5
2.1 Projektledning	5
2.2 Påverkan av covid-19.....	6
2.3 Sammanfattning av genomfört arbete.....	6
3 Sammanfattning av metod, resultat och analys.....	6
3.1 Konstruktion av testprocedur	7
3.2 Flygledares preferenser.....	7
3.3 Jämförelse av ANP, FCOM och normalförfarande	8
3.4 Analys av buller, bränsleförbrukning och CO ₂ för första flygplanstyp	8
3.5 Testflygningar i simulator	9
3.6 Spridning av resultat.....	9
4 Slutsatser	9
5 Framtida arbete.....	10
6 Bilagor.....	10
6.1 Bilaga 1 – Konferensbidrag ICAS 2021.....	10

Projektdeltagare

KTH
(Huvudsökande)
Per Näsman
Institutionen för
fastigheter och
byggande
KTH Royal Institute
of Technology
100 44 Stockholm

Vernamack AB
(Projektledare)
Bengt Moberg
Box 357
101 27 Stockholm

1 Projektbeskrivning

ERAS (Evaluation of Realistic Approach Scenarios) är ett projekt som genomförts inom ramen för Centrum för hållbar luftfart vid Kungliga Tekniska Högskolan (CSA). Projektet har finansierats av Trafikverket.

Syftet med ERAS har varit att öka kunskap rörande möjligheter att utföra den slutliga delen av en inflygning på ett sätt som är gynnsamt både med avseende på buller och CO₂ utsläpp och som dessutom är möjligt att genomföra med ett antal olika flygplanstyper. Den huvudsakliga frågan att utvärdera har varit; om det går att skapa procedurer som är realistiska ur ett flygoperationellt perspektiv och som utan att generera ökat buller inte släpper ut mer CO₂ än nödvändigt.

Projektets syfte har uppnåtts genom att en grundläggande inflygningsprocedur har skapats som sedan varierats med avseende på fart och slutlig inflygningsvinkel. Detta har resulterat i fyra olika operationella scenarier för vardera tre olika glidbanevinklar, med totalt tolv olika utfall. För dessa tolv utfall har buller och bränsleåtgång beräknats på detaljerad nivå för en flygplanstyp (Airbus A321) för vilken det funnits tillgång till avancerad programvara för bullerberäkning. Resultaten från de detaljerade bullerberäkningarna har sedan jämförts med data från Eurocontrols databas Aircraft Noise and Performance (ANP) som ligger till grund för bullerberäkningar i enlighet med European Civil Aviation Conference dokument 29 (ECAC doc. 29), vilket är det styrdokument som används i Sverige. För åtta stycken andra flygplanstyper (Airbus A220, Airbus A330, Airbus A350, ATR72-600, CRJ900, Embraer 190, Boeing 737, Boeing 777) gjordes sedan en jämförelse med ANP huruvida buller kan förväntas variera på samma sätt som för den i detalj studerade flygplanstypen, vilket också konstaterades vara fallet.

Därefter anpassades de för den ursprungliga flygplanstypen tolv olika inflygningsscenarierna till de övriga åtta flygplanstyperna baserat på de flygoperationella kraven hos dessa. Totalt definierades 108 olika inflygningar. Dessa testflögs sedan i flygsimulatorer (Full Flight Simulators, FFS) för respektive flygplanstyp, varvid data rörande bränsleförbrukning och flygoperationell genomförbarhet dokumenterades.

Slutsatsen är att det finns möjligheter att på en aggregerad nivå minimera både CO₂ och buller vid inflygning till en flygplats genom att tillåta de ankommande flygplanen flyga så länge som möjligt med en fart tillräckligt hög för att slippa fälla ut lyftkraftshöjande anordningar, dvs. fram- resp. bakkantsklaffar, för att därefter låta motorerna vara på tomgång och farten minska till den fart som krävs för att genomföra en inflygning och landning i enlighet med konceptet "stabiliserad inflygning". Det senare ett koncept som är accepterat i syfte att definiera huruvida en inflygning genomförs så att en säker landning kan utföras. Fortsatt utvärdering på fler flygplanstyper rekommenderas för att fullt ut säkerställa att konceptet är genomförbart samt vilka begränsningar som bör krävas för att så många flygplanstyper som möjligt kan rymmas inom konceptet.

ERAS har byggt på samverkan med övriga projekt inom ramen för Centrum för Hållbar Luftfart. Projektet har tagit del av data och resultat från andra projekt såsom Brantare, ULLA, SAFT, OPNOP, ANT och CIDER samtidigt som ERAS har bistått övriga projekt inom centrumet med deras behov av flygdata och flygoperativ kompetens.

2 Genomfört arbete

2.1 Projektledning

Projektet har administrativt förvaltas av KTH som varit kontaktpunkt och avtalspart mot Trafikverket. Projektets andre deltagare, Vernamack AB, har fungerat som leverantör till KTH. Det praktiska

arbetet har dock letts av Vernamack AB som fungerat som projektledare inom projektet. Under projektets gång har kvartalsvisa uppföljningsmöten hållits mellan projektparterna.

2.2 Påverkan av covid-19

Då covid-19-pandemin drabbade världen påverkades ERAS kraftigt av denna. Samtliga olika leverantörer som kunde tillhandahålla flygsimulatorer, exempelvis flygbolag som Air Baltic, flygplanstillverkare som ATR, simulatorägare som CAE eller träningsorganisationer som Lufthansa Aviation Training, stängde alla ner möjligheten att använda simulatorer för annat än absolut nödvändig träning för flygbolagskunder. För ERAS del innebar detta att endast den inledande delen av projektet kunde genomföras som planerat. Den delen av projektet innebar beräkningar av procedurer genomförda med simuleringsprogramvara samt kontakter med flygledare hos LFV. Övriga delar av projektet som innebar testflygningar i flygsimulatorer fick vänta och kunde genomföras först då vaccin mot Covid 19 fanns och de olika leverantörerna började tillgängliggöra sina simulatorer igen. Sammantaget kan konstateras att pandemin innebar en nio månaders försening av projektet men att den ändå bara marginellt påverkade projektets resultat.

2.3 Sammanfattning av genomfört arbete

Som nämnts ovan kunde den inledande delen av projektarbetet genomföras utan större påverkan av pandemin. De arbetsmoment som då genomfördes var:

- Insamling av tekniska och operationella data för de i projektet ingående flygplanstyperna.
- Konstruktion av en generisk inflygningsprocedur baserad på bana 01L vid Arlanda.
- Jämförelse av operationella procedurer såsom de beskrivs av flygplanstillverkarna resp. ANP-databasen.
- Undersökning av preferenser hos flygledare på Arlanda rörande flygplans anflygningsfarter.
- Beräkning av buller för en flygplanstyp (Airbus A321) baserat på tolv olika inflygningsscenarier.
- Presentation av preliminära resultat på kongressen ICAS2020.(som blev uppskjuten ett år och istället kom att heta ICAS2021).
- Planering av simulatortester

Den senare delen av projektet kom att förskjutas i tiden och genomfördes under senare delen av 2021 samt under 2022. De arbetsmoment som då utfördes var:

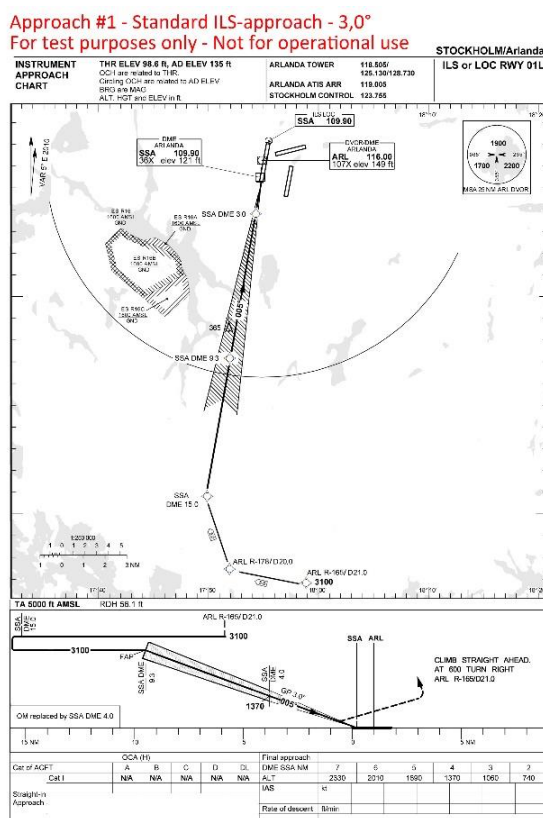
- Testflygning av procedurer i flygsimulatorer.
- Iterativ uppdatering av testprocedurer.
- Sammanställning och analys av data insamlade vid testflygningarna.
- Ytterligare presentation av resultatet i en vetenskaplig artikel samt denna slutrapport.

3 Sammanfattning av metod, resultat och analys

Nedan följer en sammanfattning av metod, resultat och analys. Fullständiga beskrivningar finns i konferensbidraget (bilaga 1) samt den vetenskapliga artikeln. Den senare bifogas när den publicerats. (Se pkt 6)

3.1 Konstruktion av testprocedur

I syfte att kunna genomföra realistiska beräkningar samt tester i flygsimulator skapades en testprocedur baserad på inflygning till bana 01L på Stockholm Arlanda flygplats. Proceduren valdes avsiktligt att innehålla ett kortare segment med flygning på en konstant höjd av 3 000 fot (ft) över marken, för att därefter avslutas med en inflygning med inflygningshjälpmedlet Instrument Landing System (ILS). ILS-inflygning är det totalt dominerande inflygningshjälpmedlet. Under det sista året före pandemin (2019) genomfördes drygt 115 000 landningar på Arlanda varav mer än 99 % var ILS-inflygningar¹. Anledningen till att välja ett kortare segment med planflykt är att även om det är visat i ett flertal studier att en kontinuerlig plané från marschhöjd ner till landning är det mest bränsleeffektiva sättet att göra en inflygning, så är det de facto så att det normala sättet att samordna flygtrafiken in till kraftigt trafikerade flygplatser innebär att kortare segment av planflykt ofta krävs.



Figur 1. Den inflygning som användes i testerna.

3.2 Flygledares preferenser

För att få en uppfattning om vilka farter en flygledare som leder in flygplan inför föredrar genomfördes en enkät till elva flygledare vid inflygningskontrollen på flygledningscentralen vid Stockholm Arlanda (ATCC). De tillfrågades vilka högsta respektive lägsta hastigheter de kände sig bekväma med att låta den ankommande trafiken ha vid vissa givna avstånd in till landning på

¹ Flygvägs- och flygbullerkontroll Stockholm Arlanda airport, Kvartal 4, 2019, Swedavia AB

antingen bana 01L eller bana 01R. Anledning till att fråga för de bägge banorna är att anflygningshöjden in till bana 01L är 2 500 ft och till bana 01R 4 000 ft, vilket skulle kunna påverkat resultatet.

Frågan ställdes dels under förutsättningen att ankommande trafik bestod av flygplan med samma operativa prestanda (dvs. antingen propellerflygplan, medelstora jetflygplan eller stora jetflygplan) och dels om trafiken bestod av en mix av flygplanstyper (dvs. både propellerflygplan, medelstora jetflygplan och stora jetflygplan).

Sammanfattningsvis kan sägas att det var ingen skillnad mellan flygledarnas preferenser beroende på om flygplanen flög in till bana 01L eller bana 01R.

Det fanns inte heller några skillnader i flygledarnas preferenser beroende på trafikmixen av flygplan.

Den högsta hastighet flygledarna känner sig bekväma med vid det avstånd (3 nautiska mil (NM) före anslutning till glidbanan) som redovisas som optimalt i pkt. 3.6 nedan ligger 15-20 knop (KT) under den hastighet som vore det optimala (230 KT) enligt pkt. 3.6 nedan.

3.3 Jämförelse av ANP, FCOM och normalförfarande

Under den första delen av projektet jämfördes hur ett urval av flygplansmanualer, Flight Crew Operating Manual (FCOM), och deras beskrivning av hur flygplanen ska flygas inför landning med hur detta beskrivs i ANP-databasen. Den senare som i Sverige, tillsammans med European Civil Aviation Conferences (ECAC) dokument 29 (ECAC doc. 29) beskriver hur flygplan opereras, och därmed bullrar inför landning. För den flygplanstyp, (Airbus A321), där flygoperativ data från färdskrivare ombord på flygplanen, fanns tillgängligt inom CSA, (tillgängligt via tidigare avtal med projekten Brantare samt OPNOP och flygbolaget Novair) jämfördes även hur väl de två operativa förfarandena överensstämmer med hur piloter verkligen flyger flygplanen. För ett antal andra flygplanstyper genomfördes intervjuer med piloter för att avgöra hur god överensstämmelse det finns mellan de olika operativa förfarandena.

Det kunde konstateras att det är dålig överensstämmelse både mellan FCOM och ANP, samt mellan den flygoperativa verkligheten och FCOM resp. ANP. Detta är mer detaljerat beskrivet i bilaga 1.

För svenska förhållanden är det noterbart att det i ECAC doc. 29 särskilt skrivs att: *“Users should examine the applicability of ANP database default ‘procedural steps’ to the airport under consideration. These data are generic and in some cases may not realistically represent flight operations at your airport”*. Det kan då konstateras att eftersom ECAC doc. 29 och ANP-databasen är de styrdokument som används för bullerberäkningar i Sverige och att det är dålig överensstämmelse mellan dessa och den flygoperativa verkligheten så kan det vara stor osäkerhet i de bullerberäkningar som görs för svenska flygplatser.

3.4 Analys av buller, bränsleförbrukning och CO₂ för första flygplanstyp

Från de detaljerade analyser av buller, bränsleförbrukning och flygoperativ genomförbarhet som gjordes i projektets första del av de tolv inflygningsscenarier som senare skulle testas i simulator kunde konstateras att för både buller och bränsleeffektivitet är det mest gynnsamt att låta flygplanet flyga så länge som möjligt i tillräckligt hög fart för att slippa använda någon form av klaffar. Detta eftersom utfällning av såväl framkantsklaff som bakkantsklaffar skapar luftmotstånd som både genererar aerodynamiskt buller och buller från det ökade motorpådrag som krävs för att kompensera för det ökade luftmotståndet. När flygplanets fart sen måste reduceras för att kunna genomföra en säker landning ska fartreduktionen genomföras med motorerna i tomgång och fartreduktionen kontrolleras genom att piloterna faller ut klaffar och landningsställ vid lämpliga tidpunkter. (se bilaga1)

3.5 Testflygningar i simulator

För alla flygplanstyper som testades i simulator konstaterades vid intervjuerna med instruktörerna att de procedurer som angavs i respektive FCOM inte stämde överens med hur flygplanen normalt opereras i normal linjefart.

Från de testflygningar som gjordes i simulatorer kunde för åtta av nio flygplanstyper konstateras att det mest bränsleeffektiva sättet att genomföra inflygningsproceduren var att bibehålla tillräckligt hög fart så länge som möjligt för att undvika att fälla ut klaffar som skapade luftmotstånd. Detta helt i linje med vad som gällde för det först undersökta flygplanet. För den nionde flygplanstypen (ATR72-600) förbrukades två (2) kg mer bränsle om hög fart bibehölls så länge som möjligt istället för att flyga som flygplanets manual föreskrev eller om det flögs som det normalt flygs under normala operationer.

Sammanfattningsvis kunde konstateras att 230 KT är den fart som är lämplig att låta ankommande flygplan hålla fram till cirka tre nautiska mil (3 NM) före anslutning till ILS-inflygningens glidbana. Samtliga i testerna ingående flygplan kunde då behålla alla typer av klaffar infällda, för att därefter reducera farten med motorerna i tomgång och efterhand fälla ut klaffar och landningsställ när så erfordrades för att vara stabiliserade på 1 000 ft.

Den flygplanstyp som hade minst marginal mot kravet på att vara stabiliserad på 1 000 ft var Airbus A350 vilket även var den mest moderna flygplanstyp som ingick i testerna. Detta skulle kunna vara en indikation på att mer moderna flygplanstyper är mer optimalt konstruerade för att minimera luftmotstånd vid utfällning av klaffar, vilket innebär att de inte bromsar ner flygplanet likamycket som äldre konstruktioner görs när de fälls ut.

Fullständiga resultat från den projektets senare del redovisas i en forskningsartikel som av upphovsrättsliga skäl inte kan redovisas förrän den publicerats.

3.6 Spridning av resultat

Projektets status och resultat har presenterats vid nedanstående tillfällen:

- CSAs deltagande i kongressen FT2019
- CSA workshop 2019 och 2020.
- ICAS2021, Shanghai, september 2021.
- CSA-avstämningsmöten, kvartalsvis.

Konferensbidraget till ICAS2021 har publicerats och finns som bilaga till denna rapport.

I tillägg till det har en vetenskaplig artikel skrivits. Den är ännu inte publicerad och kan av upphovsrättsliga skäl inte bifogas denna rapport. Så fort den är publicerad kommer den dock biläggas slutrapporten.

4 Slutsatser

Att beskriva hur bränsleförbrukning och buller påverkas av flygoperationella procedurer under en inflygning är en komplex uppgift. I analysen förekommer ett stort antal variabler som i flera led är beroende av varandra. Ett flygplans vikt påverkar behovet av användning av klaffar och kan innebära att en högre fart är att föredra om målet är att undvika användning av klaff under en tidigare del av inflygningen för att minimera både CO₂ och buller. Detta kan i sin tur innebära att farten då flygplanet senare under inflygningen angör den slutliga inflygningen, dvs. sjunker längs glidbanan, blir högre och mer klaff och utfällning av landningsställ måste ske tidigare, vilket i sin tur genererar mer buller. Det kan därför konstateras att det med största sannolikhet inte finns någon universell metod för att minimera CO₂ och buller som fungerar i alla situationer. För de i projektet undersökta flygplanstyperna kan dock konstateras på en aggregerad nivå att:

- Med avseende på bränsleförbrukning och utsläpp av CO₂ så är det lämpligt att låta flygplanen flyga med en fart på 230 KT fram till en punkt cirka 3 NM före angöringen till glidbanan förutsatt att glidbanan angörs från en höjd av 3 000 ft eller högre.
- Om glidbanan angörs från en höjd lägre än 3 000 ft kan ankommande flygplan tillåtas hålla en fart av 230 KT till ett avstånd av 12 NM före landning.
- Då fram- eller bakkantsklaffar fälls ut tidigt under de sista 30 km av inflygningen så skapas både aerodynamiskt buller och buller från motorerna vilket påverkar överflugna områden på marken varför det är lämpligt att tillåta ankommande flygplan att hålla en fart tillräckligt hög för att slippa göra detta.

Sammanfattningsvis kan sägas att det med stöd av flygoperationella procedurer bör finnas möjligheter att minska utsläpp av CO₂ från ankommande flygplan samtidigt som buller på marken minimeras.

5 Framtida arbete

Som en följd av erfarenheterna från ERAS föreslås följande områden vara värdefulla att undersöka vidare

- Utöka antalet testade flygplanstyper med de mest moderna flygplanstyperna där exempelvis även B787 inkluderas.
- Tester bör även genomföras med andra typer av inflygningstyper som kan komma att bli aktuella i framtiden, exempelvis kurvade inflygningar i enlighet med RNP-AR.
- Genomför i samarbete med flygtrafikledning både simulatorförsök och praktiska försök där ankommande flygplan tillåts hålla den fart de behöver för att slippa fälla ut någon form av klaffar i ett tidigt skede. Antingen fram till 3 NM före angöring till glidbanan eller senast 12 NM före landning, beroende på höjd för angöring till glidbanan.
- Undersök om flygledare kan acceptera högre anflygningsfarter närmare punkten för angöring till glidbanan. Antingen bara genom utbildning/träning eller om ett bättre systemstöd kan möjliggöra det.
- Undersök hur fartreduktionen från punkten 3 NM före anslutningen till glidbanan varierar hos olika flygplanstyper och därmed riskerar att skapa situationer där separationen mellan de ankommande flygplanen eventuellt äventyras.

6 Bilagor

Projektets resultat presenteras primärt i ett konferensbidrag samt i form av en vetenskaplig artikel. Till denna slutrapport är bilagt konferensbidraget som redovisades vid ICAS 2021.

Projektets vetenskapliga artikel kan av upphovsrättsliga skäl ännu inte biläggas, men när den har publicerats kommer den att läggas till slutrapporten.

6.1 Bilaga 1 – Konferensbidrag ICAS 2021

Se nedan

Stockholm 2022-06-15
Bengt Moberg, projektledare
Vernamack AB



ERAS- Evaluation of realistic approach scenarios for minimal noise - preliminary findings

Bengt Moberg¹, Per Näsman², Ulrika Ziverts³

¹Vernamack AB

²KTH Royal Institute of Technology

³Infobahn AB

Abstract

During approach to an airport aircraft as noise sources change along the approach paths they travel. Extension of slats, flaps and landing gear will affect aerodynamic noise and as a consequence of increased drag also engine noise will be affected. In the ERAS-project the overall possibilities at an airport to reduce noise by implementing operational procedures for arriving aircraft is evaluated. As a first step a number of aircraft types were selected and the operational descriptions in the Aircraft Noise and Performance database (ANP), maintained by Eurocontrol were compared to the operational descriptions in the aircrafts' operating manuals (FCOM). One aircraft type where discrepancies was found between the ANP and the FCOM and where flight data from real flights were available was selected for further analysis. Flight data recorder data from 1 357 flights were analyzed in order to find operational possibilities and limitations. Based on the outcome from actual flights and the FCOM, twelve operationally feasible approach scenarios were developed in which noise and fuel calculations were performed for the developed scenarios. The results suggest that there exists possibilities for airports to reduce both noise and CO₂ emissions by implementing operational recommendations for landing aircraft.

Keywords: aircraft noise, airport noise, aircraft operations

1. Introduction

Aircraft noise in the proximity of an airport is in many cases a disturbance for nearby residents. The noise can either be a source of minor irritation, or it can be the cause of somatic illnesses [1] that will lead to costs at an overall societal level and also to personal inconveniences for the affected persons. Minimization of noise is therefore generally accepted to be fruitful both at an individual level and for the whole society and as a consequence legislation may be required. On June 25th 2002, the European Parliament adopted a directive on the assessment and management of environmental noise [2]. As a result, the European Commission has developed Common NOise aSSessment methOdS (CNOSSOS-EU) for environmental noise [3]. For the calculation of aircraft noise, the 4th edition of document 29, from the European Civil Aviation Conference (ECAC Doc 29) is therefore used. ECAC Doc 29 is in its turn supported by a database, the Aircraft Noise and Performance database (ANP) [4], which is maintained by Eurocontrol. The ANP database describes both noise levels and how each specific aircraft type is expected to be operated during take off, approach and landing. In ECAC Doc 29 however, it is stated that *"Users should examine the applicability of ANP database default 'procedural steps' to the airport under consideration. These data are generic and in some cases may not realistically represent flight operations at your airport"* [5]. A statement that makes it plausible to further investigate how aircraft are actually operated into airports under different circumstances.

The way a given aircraft is operated into a given landing runway is heavily dependent on how the individual pilot flying the aircraft is handling the aircraft on its way to the landing. A pilot performing an approach into a runway must adhere to several regulatory based restrictions. The approach path to fly is designed according to a regulatory framework [6] based on annexes published by the United

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

Nations specialized agency the International Civil Aviation Organization (ICAO) and as implemented in the country of operations [7]. The pilot must also operate according to the individual airline's standard operating procedures (SOP), which is based both on requirements in the ICAO annexes, the aircraft flight manual (AFM) from the airframe manufacturer and the legislation in the country of where the aircraft operator is registered.

In practice, all these regulations will sum up to that the aircraft should not be operated faster than 250 knots (kts) of indicated airspeed (IAS) below an altitude of 10 000 feet (ft) and that the aircraft shall be established in landing configuration at the correct speed, the correct rate of descent and along the intended flightpath at a height of 1 000 feet above the landing runway threshold, the latter height to be reduced to 500 feet if the pilot have the landing runway in sight at 1 000 ft [8] [9].

Also affecting the operation of the aircraft is the intervention of air traffic control (ATC) in order to sequence traffic using radar vectors, speed control and segments of level flight, which is necessary at large airports with a lot of departing and arriving traffic and also based on regulatory framework from ICAO [10].

The most common approach type at major airports is the instrument landing system approach (ILS), where the aircraft is guided horizontally by the localizer signals (LOC) and vertically by the glide slope signals (GS). The standard ILS glide slope angle is 3.0° although variation may occur. To reach the desired landing speed the pilot needs to slow the aircraft down by a combination of level flight segments, increased drag and thrust reduction. When the aircraft is flown along the ILS glide slope, increased drag is primarily created by extension of trailing edge flaps and the landing gear.

From earlier research [11] it was noted that before the approach is executed the pilot creates a mental model of the approach he/she is going to fly. This mental model is created to be within the operating limitations of the SOP for the given airline and aircraft type. Since the SOP varies between airlines and the pilot have a certain degree of freedom of when to extend slats, flaps and landing gear as long as it is done within the SOP, there will be a distribution of different operational behaviors when it comes to extension of slats, flaps and landing gear, and the use of engine thrust. The same earlier research also noted that the mental model is adjusted during the execution of the approach and that the mental model itself can differ from how the pilot actually executes the approach. Since the extension of slats, flaps and landing gear creates drag, both aerodynamic noise as well as engine noise can be expected since thrust requirements are affected and thus influencing the characteristics of the aircraft as a noise source [12] [13]. So even during similar pre-existing conditions, such as weather and aircraft mass, the resulting environmental noise footprint and fuel consumption will differ between various approaches, even when conducted by the same pilot.

The aim of the research covered in this paper is to address if noise can be reduced or minimized with the implementation of operationally viable approach procedures for one specific aircraft type, the Airbus A321-251N (A321Neo).

2. Method

2.1 Review of FCOMs, Comparison with ANP and selection of aircraft type

FCOMs and when possible also Flight Crew Training Manuals (FCTM) for Boeing aircraft, or Flight Crew Techniques Manuals (also FCTM) for Airbus aircraft were collected and the approach procedures were analyzed for seven different aircraft types; the Airbus A320 [14] [15], A330 [16], A340 [17], A350 [18] [19], Boeing 737 [20] [21], Boeing 777 [22] [23] and the Boeing 787 [24]. In this context a wider definition of an aircraft type was used so that sub-versions like the A318/A319/A320/A321 series of aircraft was considered as one aircraft type since this is the practical definition normally used within the FCOM structure itself.

Within the ANP however aircraft types are more specifically defined so that the A320 and A321 is not considered as the same aircraft type. In the ANP there are also distinctions between different versions of one specific aircraft type for example depending on engine type. When the comparison between the FCOM operational procedures and the ANP was performed, considerations were taken

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

to all versions of any specific aircraft type.

In order to have a common reference for an approach to evaluate, a standard 3.0° ILS approach with glide slope interception from level flight at 3 000 ft above ground was defined to be the reference. That operational behavior is also consistent with the operational description in the ANP database. Based on differences between the descriptions in the FCOMs and the ANP database, the points of selection of trailing edge flap extension and landing gear extension was used as the references in order to select the aircraft type to analyze further.

2.2 Review of operational behavior

For the selected aircraft type FDR-data was available from 1 389 flights. All data was handled in an IBM SPSS database and a confidentiality agreement with the airline selected was signed in order to be able to use the data. The average, maximum and minimum extension heights and distances before landing for each slat, flap and landing gear extension was noted. The pilots' use of thrust and speed brake were also evaluated.

2.3 Development of approach scenarios

Four standard ILS approach scenarios possible to fly with the selected aircraft type were designed based on the outcome of the operational behavior analysis. One scenario was designed to be in line with the operational description in the FCOM, defined as approach scenario #1 (FCOM), one as close as possible to the average scenario flown as achieved from the FDR-data, defined as approach scenario #2 (Data average), a high speed as scenario #3 (High speed) and one as a low speed scenario defined as approach scenario #4 (Low speed). Each approach scenario was then slightly modified in order to be evaluated also for glide slopes at 2.5° and at 3.5°. These approach scenarios were numbered as approach scenario #n+4 for the 2.5° scenarios and as approach scenario #n+8 for the 3.5° scenarios, where n = the number for the 3.0° glide slope scenario. All in all twelve scenarios were developed.

In order to prepare for the next phase of the project where all scenarios will be flown in full flight simulators and to facilitate the use of the noise calculation software, the scenarios were implemented as approaches into Stockholm-Arlanda Airport runway 01L at an initial height of 3 000 ft.

2.4 Noise calculations

Noise as the A-weighted maximum noise on the ground (L_{Amax}) was calculated with the aircraft manufacturers Performance Engineer's Programs (PEP) for all approach scenarios for the A321Neo with a landing weight of 73 t. The ICAO standard atmospheric model [25] was used, noise lateral attenuation according to the ICAO SAE AIR 5662 model and the ICAO SAE ARP 866A model for atmospheric damping was used. The model also used a microphone height of 1.2 m above ground. The resolution of the resulting noise grid was selected to be 200 m. Only L_{Amax} levels at or above 40 dB(A) were used in the further analysis.

Approach scenario #2 (Data average) was defined to be used as a reference scenario and the difference between that scenario and the others were calculated.

3. Results

3.1 Evaluation of FCOMs and ANP

The operational behavior as described in the FCOMs and the ANP is summarized in Table 1 below.

Table 1 – Description of operational behavior in the ANP and the FCOM.

A/C type and document	Point for initial flap/slat setting	Height for intermediate flap setting [ft]	Height for reduced landing flap setting [ft]	Height for landing flap setting [ft]	Height for landing gear extension [ft]
A320 FCOM	Earlier than at 2 000 ft	2 000 ft	Approx. 1 550 ft*	Approx. 1 450 ft*	Approx. 1 800 ft*

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

A/C type and document	Point for initial flap/slat setting	Height for intermediate flap setting [ft]	Height for reduced landing flap setting [ft]	Height for landing flap setting [ft]	Height for landing gear extension [ft]
A320 ANP	No info in ANP	No info in ANP	No info in ANP	1 819 - 2 003 depending on version.	1 819 - 2 003 depending on version of a/c.
A330 FCOM	Earlier than 2 500 ft height	2 500	Approx. 2 000	Approx. 1 800*	Approx. 2 200*
A330 ANP	No info in ANP	No info in ANP	No info in ANP	1938 - 2144	1938 - 2144
A340 FCOM	Earlier than at 2 500 ft	2 500	Approx. 2 000*	Approx. 1 800*	Approx. 2 200*
A340 ANP	No info in ANP	No info in ANP	No info in ANP	1 650 - 1 976 depending on version	1 650 - 1 976 depending on version
A350 FCOM	Calculated by the FMGS system	Calculated by the FMGS system	Calculated by the FMGS system	Calculated by the FMGS system	Calculated by the FMGS system
A350 ANP	1 950 m - 8 311 m before GS intercept depending on version.	2 709	2 494	2 180	2 709
B737 FCOM	> 2 Nm before GS intercept	Approx. 2 Nm before GS intercept	GS Intercept	GS Intercept	Approx. 2 Nm before GS intercept
B737 ANP	4 678 ft height	GS intercept/ 1 500 depending on version.	1 500	1 000 - 2 817 depending on version	Not described
B777 FCOM	> 2 Nm before GS intercept	Approx. 2 Nm before GS intercept	GS Intercept	GS Intercept	Approx. 2 Nm before GS intercept
B777 ANP	N/A	N/A	N/A	2 700 or N/A depending on version	N/A
B787 FCOM/FCTM	> 2 Nm before GS intercept	Approx. 2 Nm before GS intercept	GS Intercept	GS Intercept	Approx. 2 Nm before GS intercept
B787 ANP	No info in ANP	No info in ANP	No info in ANP	2 725	No info in ANP

*Height is dependent on extension time of previous selections.

Since there were large discrepancies, or lack of information between the operational behavior described in the FCOMs and the ANP for all aircraft types, the aircraft type to investigate further was based on the best availability of data from flight data recorders (FDR-data) from actual flights. Based on that the A321Neo was selected.

3.2 Operational behavior from actual flights

FDR-data from 1 389 flights into three different runways using ILS-approaches was available whereof 32 flights were excluded, either due to lack of continuous data or the flight not being stabilized at the point where the glide slope should have been intercepted. Hence 1 357 flights were used for further analysis. The distances and heights for selection of slats, flaps and landing gear is found in Table 2 below. It should be noted that the A321 flap 1 position is equal to extension of leading edge slats only.

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

Table 2 – Average distances or height for configuration changes.

	Distance to THR for selection of slats, flaps or landing gear. [km]				Height for selection of slats, flaps or landing gear. [ft]			
	Flap 1 (F1)	Flap 2 (F2)	Landing gear (LG)	Landing flap (F3)	Flap 1 (F1)	Flap 2 (F2)	Landing gear (LG)	Landing flap (F3)
max	70,4	48,7	21,9	17,4	11 113	8 976	3 824	3 049
average	25,4	16,2	10,0	7,5	3 928	2 806	1 757	1 331
min	9,7	7,0	5,4	3,3	1 719	1 254	979	625

3.3 Approach scenarios

Twelve different approach scenarios described in Table 3 below were developed and tested for flyability in the PEP. The twelve scenarios were defined to start at a ground track distance of 44 500 meters (m) from the landing runway threshold, at an initial height of 3 000 ft above the landing runway threshold. They were to be simulated to be flown in still air, at standard atmosphere, with the initial state of the aircraft being in level flight, all systems functioning normally, flaps, slats and landing gear retracted, air conditioning systems in normal position, wing and engine anti icing systems de-activated, and at an indicated airspeed of 230 kts. None of the approach scenarios included landing with full flaps since less than 2 % of the landings in the FDR-material from actual flights used full flaps for landing.

Table 3 – Average distances or height for configuration changes.

Scenario #	GS angle [deg]	F1 selection distance to THR [m]	F2 selection distance to THR [m]	Landing gear extension height [ft]	Landing flap selection height [ft]
1 (FCOM)	3.0	23 000	20 870	2 000	1 763
2 (Data average)	3.0	25 400	18 500	1 757	1 354
3 (High speed)	3.0	20 500	18 378	2 000	1 300
4 (Low speed)	3.0	44 500	19 500	1 700	1 300
5 (FCOM)	2.5	26 200	24 073	2 000	1 800
6 (Data average)	2.5	25 400	21 500	1 757	1 330
7 (High speed)	2.5	24 000	21 877	2 000	1 400
8 (Low speed)	2.5	44 500	21 500	1 600	1 200
9 (FCOM)	3.5	20 500	18 368	2 000	1 400
10 (Data average)	3.5	25 400	17 500	1 800	1 516
11 (High speed)	3.5	18 700	16 578	2 300	1 300
12 (Low speed)	3.5	44 500	17 500	1 700	1 300

3.4 Noise results

The L_{Amax} levels for the four approach scenarios calculated on a 3.0° glideslope are presented in Figures 1 - 4 below. For the scenarios calculated on 2.5° and 3.5° glideslopes the results are similar although the geographical points where initial flap setting (F1) and intermediate flap setting (F2) are selected will be positioned further away from the runway threshold for the 2.5° scenarios and closer to the runway threshold for the 3.5° scenarios. This can be seen by comparing Fig. 5 and Fig. 6 with Fig. 1, where all three figures represents an approach performed in accordance with the FCOM but on approaches with different glide slope angles.

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

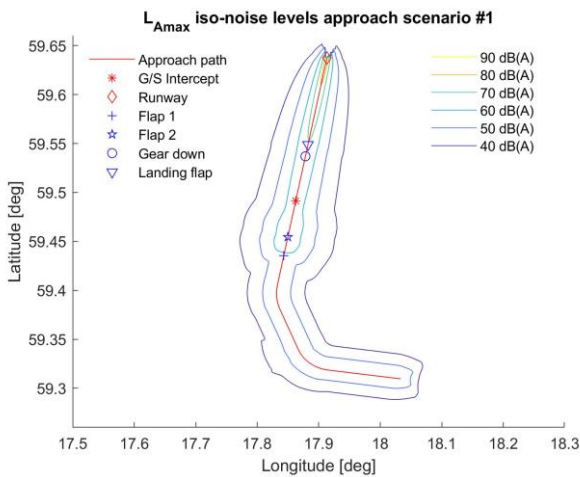


Figure 1 – On ground noise levels for approach scenario #1 (FCOM).

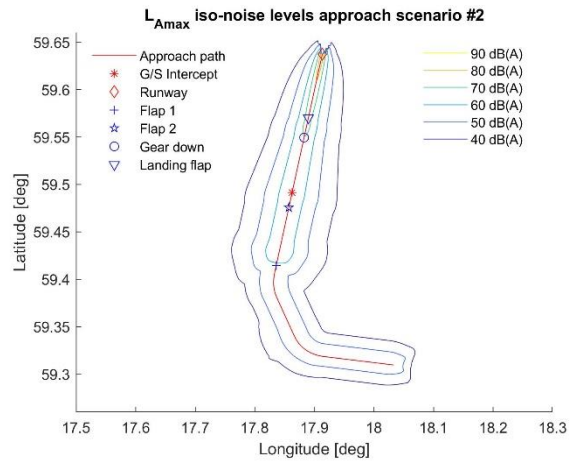


Figure 2 – On ground noise levels for approach scenario #2 (Data average).

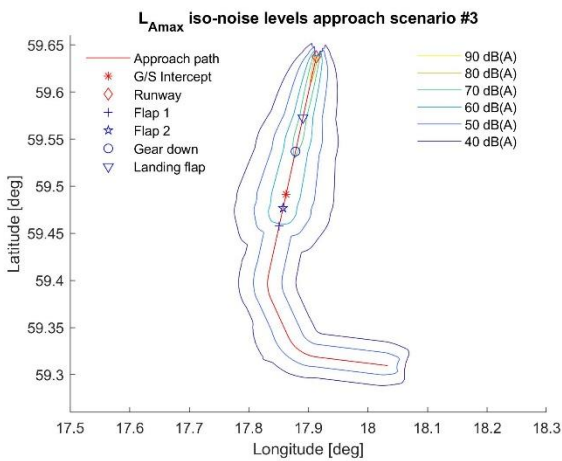


Figure 3 – On ground noise levels for approach scenario #3 (High speed).

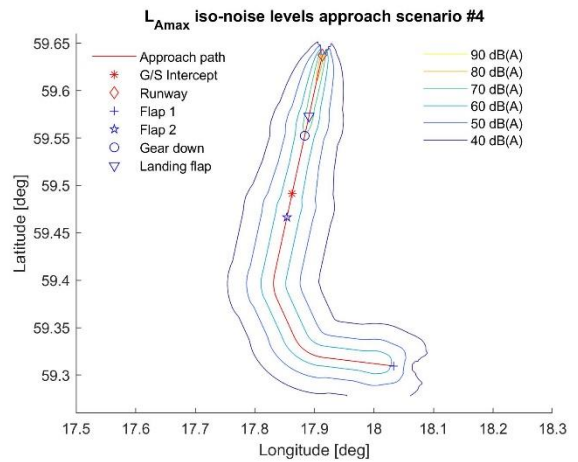


Figure 4 – On ground noise levels for approach scenario #4 (Low speed).

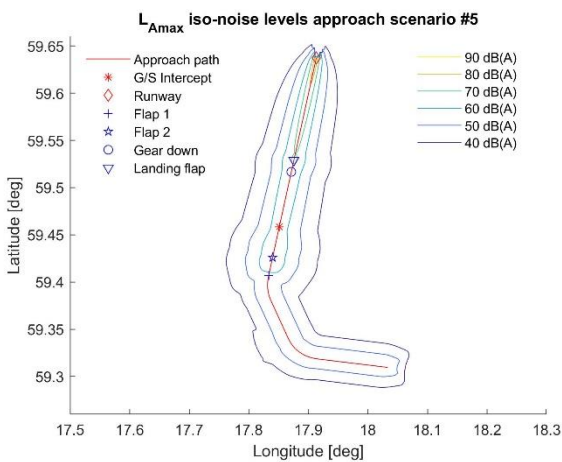


Figure 5 – On ground noise levels for approach scenario #5 (FCOM 2.5°).

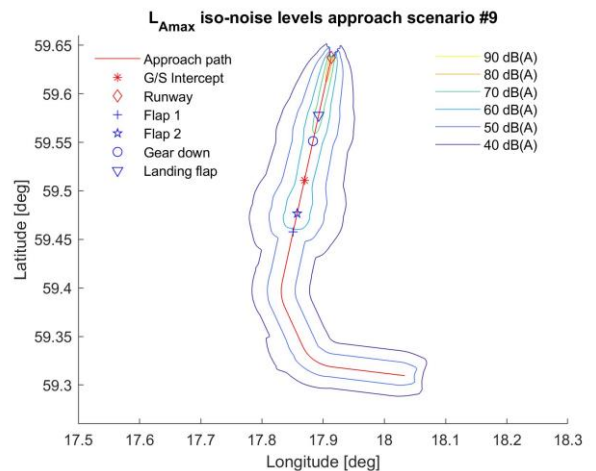


Figure 6 – On ground noise levels for approach scenario #9 (FCOM 3.5°).

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

The results from the comparison between the reference scenario and the other scenarios are depicted in Figures 7, 8 and 9 below.

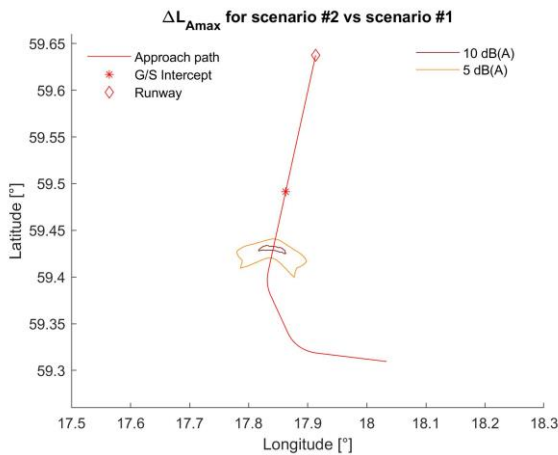


Figure 7 – Difference in L_{Amax} levels for scenario #2 (Data average) versus scenario #1 (FCOM). The area where scenario #2 (Data average) has an L_{Amax} 10 dB greater than scenario #1 (FCOM) covers a ground area of 1.1 km² in an area where L_{Amax} is 50 – 60 dB. The 5 dB area is 14 km² in an area where L_{Amax} is 40 – 60 dB.

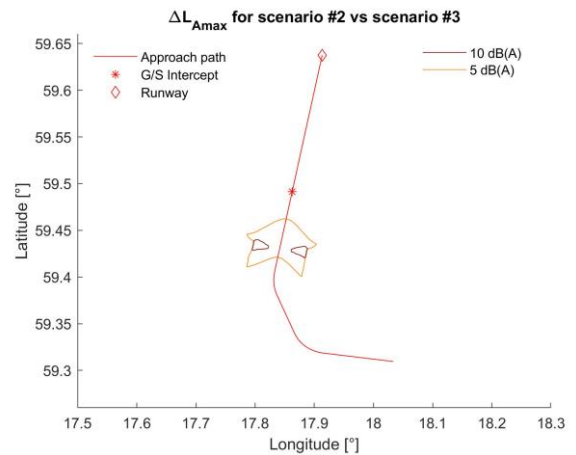


Figure 8 – Difference in L_{Amax} levels for scenario #2 (Data average) versus scenario #3 (High speed). The area where scenario #2 (Data average) has an L_{Amax} 10 dB greater than scenario #3 (High speed) covers a ground area of 2.6 km² in an area where L_{Amax} is 40 – 50 dB. The 5 dB area is 25 km² in an area where L_{Amax} is 40 – 60 dB.

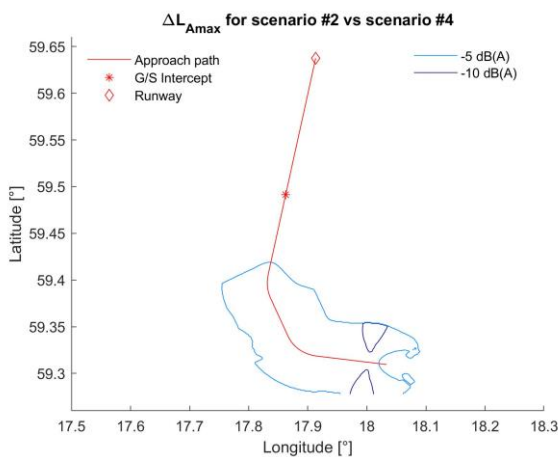


Figure 9 – Difference in L_{Amax} levels for scenario #2 (Data average) versus scenario #4 (Low speed). The area where scenario #2 (Data average) has an L_{Amax} 10 dB lower than scenario #4 (Low speed) covers a ground area of 10 km² in an area where L_{Amax} is 40 – 50 dB. The 5 dB area is 160 km² in an area where L_{Amax} is 40 – 50 dB.

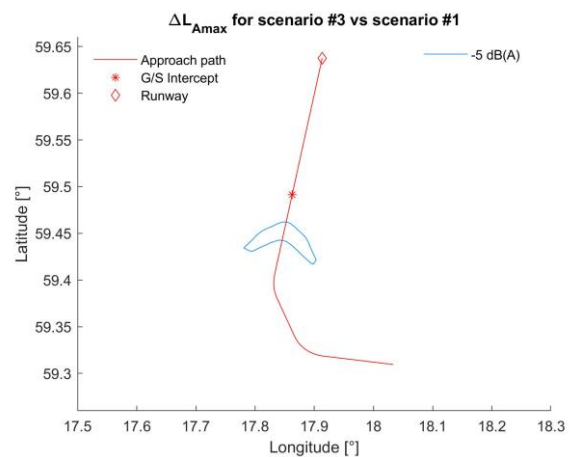


Figure 10 – Difference in L_{Amax} levels for scenario #3 (High speed) versus scenario #1 (FCOM). The area where scenario #3 (High speed) has an L_{Amax} 5 dB lower than scenario #1 (FCOM) covers a ground area of 13 km² in an area where L_{Amax} is 50 – 60 dB.

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

If it can be assumed that a noise efficient scenario is a scenario where high L_{Amax} levels are experienced over an as small area as possible then the result of the comparison of different approach scenarios revealed that the most noise efficient scenario is approach scenario #3 (High speed), where extension of any drag increasing devices is delayed as long as possible. That scenario is better than scenario #1 (FCOM), see Fig. 10 above, where the extension of slats, flaps and landing gear is performed as described in the aircraft's operations manual. Those two scenarios are both more noise efficient than the scenario derived from FDR-data from actual flights. The low speed scenario contains an extension of the leading edge slats early in the scenario, which is enough to create additional noise leading to that scenario being the least noise efficient alternative. The areas where the noise differences described above occurs are up to 3.5 km perpendicular out from the approach path's projection on the ground.

3.5 Fuel and CO₂ results

For the twelve scenarios the calculated fuel requirement as calculated by PEP is listed in Table 4 below. For the CO₂ it is assumed that each kg of fuel will result in an emission of 3.15 kg of CO₂ [26].

Table 4 – Result of time and fuel calculations for the 12 approach scenarios.

Approach scenario #	Glide slope angle [°]	Fuel used [kg]	CO₂ emitted [kg]	Time used [s]
1 (FCOM)	3.0°	204	643	456
2 (Data average)	3.0°	192	605	435
3 (High speed)	3.0°	185	583	422
4 (Low speed)	3.0°	221	696	469
5 (FCOM)	2.5°	219	677	470
6 (Data average)	2.5°	202	655	443
7 (High speed)	2.5°	202	636	440
8 (Low speed)	2.5°	227	715	471
9 (FCOM)	3.5°	189	592	442
10 (Data average)	3.5°	188	602	435
11 (High speed)	3.5°	178	561	414
12 (Low speed)	3.5°	214	674	461

In addition to the aggregated fuel calculations for the approach scenarios the specific range was calculated for the aircraft in different slats, flaps and landing gear configurations in level flight at 3 000 ft. The result is listed in Table 5 below.

Table 5 – Specific range for the selected aircraft type in different configurations in level flight at a weight of 73 tons.

Configuration	Speed IAS [kts]	Fuel flow [kg/hour]	Specific range [m/kg]
Clean	250	2 186	221
Clean	220 (Green Dot Speed)*	2 041	208

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

Configuration	Speed IAS [kts]	Fuel flow [kg/hour]	Specific range [m/kg]
Flap 1, gear up	228 (V_{fe-10})**	2 475	178
Flap 1, gear up	199 (S-Speed)***	2 313	166
Flap 2, gear up	205 (V_{fe-10})**	2 591	153
Flap 2, gear up	154 (F-Speed)****	2 367	126
Flap 2, gear down	205 (V_{fe-10})**	3 284	121
Flap 2, gear down	154 (F-Speed)****	2 794	107
Flap 3, gear down	185 (V_{fe-10})**	3 322	108
Flap 3, gear down	147 (V_{app})*****	2 917	98
Flap Full, gear down	176 (V_{fe-10})**	4 134	82
Flap Full, gear down	136 (V_{app})*****	3 213	82

*Green Dot Speed is the recommended lowest speed in clean configuration.

** V_{fe} is the highest speed allowed for a specific flap setting

***S-speed is the recommended lowest speed with Flap 1 set.

****F-speed is the recommended lowest speed with Flap 2 set.

***** V_{app} is the approach speed for the given configuration.

3.6 Flight operational appropriateness

All approach scenarios developed were tested for operational appropriateness by calculations in PEP. All scenarios could be operated within the normal flight envelope. Neither use of excessive thrust nor speed brake was found necessary. The aircraft was calculated to comply with the stabilized approach concept and thus following the correct flight path, in landing configuration, with the correct speed and attitude at a height of 1 000 ft above the landing runway threshold.

For the comparison between different glide slope angles it was noted that in order to be able to reduce speed the use of the 2.5° glide slope angle required an earlier extension of the two initial flap settings F1 and F2. For approach scenario #11 (High speed, 3.5°) where the glide slope angle was 3.5° and speed was maintained high as long as possible, the landing gear had to be extended at a height of 2 300 ft, see Table 5, in order to achieve an appropriate speed reduction. A number of different high speed scenarios were tested and the speed could in all cases be reduced by the extension of the landing gear. Since the early extension and increased drag was performed in order to reduce speed the fuel consumption was not affected since thrust was kept in idle in all cases.

4. Discussion

Based on the result of the comparison between how approaches are performed between the FCOMs, the ANP and, for the selected aircraft type, real operations it is obvious that the ANP is not a good source for detailed information regarding aircraft operations. Some countries have ECAC Doc 29 and consequently the ANP as the primary source regarding for noise calculations [27] and it might be that the results are accurate enough at an aggregated level, but when it comes to evaluation of different specific approach scenarios where for example different speeds are assessed, then there are many limitations in the ANP.

When it comes to speed it is normal that noise from aircraft increases when the airspeed of the aircraft increases [28], and hence a reduction of noise could be expected from the low speed scenario. But it can also be expected that there is an increase in noise levels if devices such as slats or flaps are extended due to increased drag of the devices. Whether an increase of noise in the latter case is due to increased aerodynamic noise or due to increased engine noise due to increased thrust requirement, caused by increased drag, is not always easy to determine for an observer on the

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

ground. But, for residents living beneath or close to runway approach areas the assumption of the ERAS-project is that it is of no or very small importance to them personally, or to the society at a general level, what the source of the noise is, i.e. aerodynamic noise or engine noise. In the scenarios evaluated, increased noise due to slat extension is experienced in all scenarios. This is especially noticeable in scenario #4 (Low speed), where the speed reduction of 17 m/s (from 230 kts to 198 kts) is performed early in the procedure, but the increased drag from the extension of the leading edge slats outweighs the reduction of drag from the speed reduction, causing a need for an increased engine thrust and the noise on ground will increase. Since the extension of leading edge slats is performed before the interception of the glide slope it could be tempting to claim that there is no correlation between the extension of initial flap settings and the final glide slope angle. But it must be noted that an increased glide slope angle will move the point where the complete sequence of extension of slats, flaps and landing gear needs to be initiated, closer to the landing runway threshold, thus allowing for a later speed reduction.

Corresponding results are achieved also for the extension of the landing gear. When the gear is extended a considerable amount of thrust might be required to counteract the drag of the landing gear. Both aerodynamic noise and engine noise will then increase and subsequently it is preferable for on ground noise if the extension of the landing gear can be performed as close as possible to the landing runway threshold. This is however not valid if an early gear extension is used in order to reduce speed as in the high speed scenario. Then only the aerodynamic noise must be considered.

A similar pattern is experienced for fuel. The further away from the runway threshold any extension of slats, flaps or landing gear has to be performed in a scenario, the larger amount of fuel is used for that approach scenario. And consequently a larger amount of CO₂ is emitted. There are two reasons for this fact which can be deduced from Table 5. Not only do extended devices increase the drag, they also call for a reduced speed due to the structural limitations of the slats, flaps and landing gear, and since the amount of fuel that is used only for keeping a turbofan engine with an overall efficiency of 30 – 50% [29] running, the total time to execute the approach will then also be a factor to consider.

5. Conclusions

5.1 Conclusions

Based on the findings in Table 1 that there are lack of information in the ANP, or discrepancies between the ANP and the FCOMs in the description of how different aircraft should be operated, it can be concluded that for a number of aircraft types the ANP is not a suitable tool in order to perform detailed analysis of different approach scenarios. For the A321 Neo specifically the lack of information regarding initial and intermediate flap settings in the ANP leads to the conclusion that other sources of information must be used. Neither does the FCOM give a precise description of actual operations, so the conclusion is that FDR-data is the preferred source if detailed approach scenarios analysis should be performed for a specific airport or runway.

It can also be concluded that it is preferable if the speed during the approach for aircraft of this type can be allowed to be as high as possible for as long as possible during the approach. Lower speed will call for the extension of slats and flaps which will increase drag and have a negative impact on the overall noise. Lower speed will also extend the overall time for the approach which will have a negative impact on fuel efficiency and emission of CO₂. Extension of leading edge slats will for this aircraft type lead to levels of increased L_{Amax} from 5 to 10 dB(A) directly below and up to 3.5 km perpendicular to the approach path.

One further conclusion is that even if the scenario described in the FCOM is more noise efficient than the scenario developed according to actual operations, the actual operations scenario is still more fuel efficient than the FCOM scenario, primarily due to the higher speeds used during actual operations.

It can finally be concluded that excessive speed experienced after interception of the glide slope can

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

be reduced by extension of the landing gear. Aerodynamic noise will, for the A321Neo, increase slightly at that point due to the increased drag but neither engine noise nor fuel efficiency or CO₂ emissions will be affected since the engines will not be used to counteract the increased drag.

5.2 Further research within the ERAS project

The continued work within the ERAS project will extend the research to cover more aircraft types and to verify if the conclusions regarding the A321Neo can be generalized for all or most aircraft types. Continued development of approach scenarios will also focus on the definition of relevant speed intervals during different phases of the approach in order to minimize noise and CO₂ emissions.

6. Acknowledgement

This research was funded by the Centre for Sustainable Aviation (CSA) at KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden and the Swedish Transport Administration, Trafikverket.

7. Contact Author Email Address

mailto: benqt.moberg@vernamack.se

8. Copyright Statement

The authors confirm that they, and/or their company or organization, hold copyright on all of the original material included in this paper. The authors also confirm that they have obtained permission, from the copyright holder of any third party material included in this paper, to publish it as part of their paper. The authors confirm that they give permission, or have obtained permission from the copyright holder of this paper, for the publication and distribution of this paper as part of the ICAS proceedings or as individual off-prints from the proceedings.

References

- [1] Seidler A, Wagner M, and Schubert M D P. Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease - A case-control study based on secondary data. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 219, pp. 749-758, 2016.
- [2] European Communities. Directive 2002/49/EC of the European parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. *Official Journal of the European Communities*, vol. L, no. 189, pp. 0012-0026, 2002.
- [3] European Commission - Joint Research Centre - Institute for Health and Consumer Protection. *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. Publications Office of the European Union, Luxemburg, 2012.
- [4] Eurocontrol Experimental Centre. *The Aircraft Noise and Performance (ANP) Database : An international data resource for aircraft noise modellers*. 14 05 2021. [Online]. Available: <https://aircraftnoisemodel.org/>.
- [5] European Civil Aviation Conference. *ECAC Doc 29, Report on standard method of computing noise contours around civil airports*. European Civil Aviation Conference, Neuilly-sur-Seine, France, 2016.
- [6] ICAO. *ICAO Doc 8168, Vol II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, 7th ed.*, Montreal: ICAO, 2020.
- [7] EASA. *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Authority, Organisation and Operations Requirements for Aerodromes*. European Aviation Safety Agency, Köln, 2020.
- [8] Flight safety foundation. Dive-and-drive dangers. *Aerosafetyworld*, pp. 13-17, November 2007.
- [9] AOPA foundation. The stabilized approach. *AOPA Pilot*, November 2000.
- [10] ICAO. *ICAO DOC 4444 - Procedures for air navigation services - Air Traffic Management*. Montreal, Canada: ICAO, 2020.
- [11] Moberg B, Rignér J, Ulfvengren P and Näsman P, Approximation of pilot operational behavior affecting noise footprint in steep approaches. *Noise Control Engineering Journal*, vol. 68, no 2, pp. 179-198, 2020.
- [12] Guerin S, Michel U, Siller H, Finke U and Saueressig G. *Airbus A319 database from dedicated flyover measurements to investigate noise abatement procedures* Monterey, California, 2005.
- [13] Snellen M, Merino-Martinez R and Simons D G, Assessment of Noise Variability of Landing Aircraft Using Phased

ERAS- EVALUATION OF REALISTIC APPROACH SCENARIOS FOR MINIMAL NOISE - PRELIMINARY FINDINGS

Microphone Array. *Journal of Aircraft*, vol. 54, no 6, pp. 2173-2183, 2017.

- [14] Airbus Industrie. *A320 Flight Crew Operations Manual*. Toulouse, France: Airbus Industrie, 2020.
- [15] Airbus Industrie. *A320 Flight Crew Techniques Manual*. Toulouse, France: Airbus Industrie, 2020.
- [16] Airbus Industrie. *A330 Flight Crew Operations Manual*. Toulouse, France: Airbus Industrie, 2020.
- [17] Airbus Industrie. *A340 Flight Crew Operating Manual*. Toulouse, France: Airbus Industrie, 2020.
- [18] Airbus Industrie. *A350 Flight Crew Operating Manual*. Toulouse, France: Airbus Industrie, 2020.
- [19] Airbus Industrie. *A350 Flight Crew Techniques Manual*. Toulouse, France: Airbus Industrie, 2020.
- [20] The Boeing Company. *737 Flight Crew Operations Manual*. Seattle, Washington, USA: The Boeing Company, 2019.
- [21] The Boeing Company. *737 Flight Crew Training Manual*. Seattle, Washington, USA: The Boeing Company, 2019.
- [22] The Boeing Company. *777 Flight Crew Operations Manual*. Seattle, Washington, USA: The Boeing Company, 2020.
- [23] The Boeing Company. *777 Flight Crew Training Manual*. Seattle, Washington, USA: The Boeing Company, 2020.
- [24] The Boeing Company. *787 Flight Crew Operations Manual*. Seattle, Washington, USA: The Boeing Company, 2020.
- [25] ICAO. *Doc 7488 — Manual of the ICAO Standard Atmosphere (extended to 80 kilometres (262 500 feet))*. Montreal, Canada: ICAO, 1993.
- [26] U.S. Energy Information Administration, [Online]. Available: https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php. [Accessed 12 04 2021].
- [27] The Swedish Transport Agency, Swedish Environmental Protection Agency, Swedish Armed Forces. *Quality assurance document for aircraft noise calculations*, Stockholm and Norrköping, Sweden: The Swedish Transport Agency, Swedish Environmental Protection Agency, Swedish Armed Forces, 2011.
- [28] Airbus Industries. *Getting to grips with aircraft noise*. Blagnac, France: Airbus, 2003.
- [29] Rolls Royce. *The jet engine*. London, England, John Wiley & Sons, 2015.