

Slutrapport Förstudie Brantare

Stockholm, 30 augusti 2016

Pernilla Ulfvengren (Projektledare, INDEK/KTH)

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

1 Sammanfattning

Förstudie Brantare är en förstudie vars syfte har varit att identifiera forskningsbehov som är relevanta för att kunna genomföra en meningsfull implementering av brantare inflygningsvinkel som bullerreducerande åtgärd. Detta har gjorts genom att:

1. Identifiera vilka variabler som är avgörande för att kunna tillämpa brantare inflygningsvinkel. Detta relaterat till flygoperativa aspekter och begränsningar. T ex faktorer såsom flygplanens egenskaper, vindriktning och styrka. Andra relevanta faktorer kan vara sikt, moln, nederbörd, inflygningsvinkel (autolandsystembegränsningar och inflygningsljusvinkel), trafikintensitet, flygplanskategori (Light, Medium, Heavy) etc.
2. Identifiera variabler som är avgörande för den potentiellt bullerreducerande effekten av brantare inflygningsvinkel. Detta är mer relaterat till hållbarhetsaspekter som bullergenerering samt spridning och exempelvis bränsleförbrukning (miljö och operativa kostnader).

Målet har varit att, baserat på det identifierade forskningsbehovet, skapa ingångsvärden till ett kommande huvudprojekt Brantare. Huvudprojektets syfte kommer sedan att vara att ge kunskap om de flygoperationella aspekterna och effekterna av inflygning med glidbanevinklar brantare än vad som vanligtvis används av flygplan vid inflygning till en flygplats. Kunskap kommer då att erhållas huruvida piloters sätt att flyga innebär möjligheter eller begränsningar till att reducera buller i praktiken, och vilka möjligheter och begränsningar detta är.

En brantare inflygningsvinkel minskar i teorin bullerpåverkan från ankommande flygplan till en flygplats genom att avståndet mellan bullerkällan och det störda området på marken ökas. Flygoperativt kommer troligtvis en förändring av glidbanevinkeln innebära en annorlunda hantering av flygplanets läges- och rörelseenergi. Effekten skulle kunna innebära att ett förändrat sätt att flyga då kan medföra nya mönster av bullerspridning vid inflygningen. Detta skulle kunna förta den önskade effekten och till och med kunna få direkt motsatt effekt för vissa områden på marken.

I denna förstudie, som även lett fram till en forskningsansökan, har piloters agerande vid inflygning med brantare inflygningsvinkel konstaterats vara ett område som inte studerats särskilt ofta trots att forskning har efterfrågats. För att om möjligt kunna få ett tillräckligt stort flygoperativt underlag att arbeta med kommer därför en viktig del i huvudprojektet Brantare vara användningen av data från färdskrivare i kommersiella flygplan. Denna data innehåller betydligt mer information än exempelvis radardata. Genom att därur extrahera

Slutrapport Förstudie Brantare

data rörande piloters agerande och korrigera den fysiska inflygningsvinkeln med vinddata, kan piloternas agerande studeras för en ekvivalent glidbana som motsvarar den glidbana som skulle ha flugits om det varit vindstilla.

Förstudien har också konstaterat att samverka med andra möjliga CSA-finansierade projekt, primärt SAFT, kan skapa synergieffekter och därmed ge en ökad förståelse för hur det potentiellt förändrade flygoperativa beteendet kopplat till en förändrad glidbanevinkel kan förväntas påverka bullerspridningen i varje punkt längs en inflygning och hur bullerspridningen kan förändras (t.ex. minska i ett område men öka i ett annat) med hänsyn till aktuell vind och faktiskt glidbanevinkel.

2 Introduktion

Buller från flygplan upplevs ofta som ett problem för närboende vid stora flygplatser. I Sverige gäller detta primärt för Arlanda flygplats. Det är därför relevant att utveckla kunskap som kan bidra till bullerreducering kring svenska flygplatser i allmänhet men även kring Arlanda i synnerhet. Inom Centrum för hållbar luftfart har genomförts ett antal förstudier som är kopplade till möjligheter och problem relaterat till bullerreducerande åtgärder. Ett generellt sätt att minska bullerpåverkan är att öka avståndet mellan bullerkällan och de som störs. Brantare inflygningsvinkel är ett sätt att öka det avståndet. Den forskningsansökan, som är ett resultat av denna förstudie, fokuserar på piloters agerande vid inflygning med brantare inflygningsvinkel. Detta dels eftersom det synes vara ett sparsamt beforskat men ofta efterfrågat område och dels eftersom piloternas handhavande av flygplanet de facto också påverkar bullersituationen på marken.

3 Bakgrund - forskningsfront

Buller från flygplan har tidigare främst förknippats med flygmotorbuller. I takt med att motorerna blivit effektivare, och bypassförhållandet ökat, har andra bullerkällor blivit mer signifikanta och intressanta att studera. Detta är speciellt relevant under inflygning där motorerna verkar med låg dragkraft och flygplanets konfiguration ändras inför landningen (landningsställ och "high lift devices" såsom framkants- och bakkantsklaffar) vilket gör andra bullerkällor än motorerna mer signifikanta [1].

Att göra landningsställ, vingklaffar etc. mindre bullergenererande är möjligt, men leder ofta till en högre bränsleförbrukning eftersom de blir mindre effektiva för sitt ursprungliga syfte. Detta måste således i sin tur kompenseras för på andra sätt, som exempelvis större vinge eller starkare motorer för att bibehålla flygplanets prestanda.

Att utnyttja en brantare glidbanevinkel som en bullerreducerande åtgärd är en tänkbar åtgärd. Ett antal projekt och studier av brantare glidbanor i syfte att minska buller på marken har genomförts. NASA genomförde redan 1967 tester med olika inflygningsvinklar i bullerreducerande syfte [2]. Den tidens flygplan (typiskt Boeing 707 och DC-8) hade andra prestanda än dagens flygplan och det är därför inte möjligt att direkt överföra resultaten från de testerna till dagens förhållanden. Exempelvis användes då rena turbojetmotorer som

Slutrapport Förstudie Brantare

har helt andra bullerprofiler än dagens turbofläktmotorer. Det konstaterades redan i samband med dessa försök att en brantare inflygningsvinkel gav en minskning av bullret på marken. Denna minskning konstaterades dels bero på minskat gaspådrag på motorerna och dels på grund av avståndsökningen mellan marken och flygplanet. För det aktuella flygplanet så konstaterade NASA att vid en glidbana på $6,0^\circ$ istället för det normala $3,0^\circ$ så reducerades maxbullret vid mätstationerna med 11,5 – 14 dB, varav 7,5 dB bedömdes bero på minskat gaspådrag och 4,0 - 6,5 dB bedömdes bero på avståndsökningen.

Dessa resultat är helt i linje med senare och mer aktuella studier som antingen har testflugit eller enbart gjort teoretiska beräkningar för brantare glidbanor på mellan $3,2^\circ$ och $6,0^\circ$. Studierna har då kommit till entydiga slutsatser att glidbanor $\geq 3,75^\circ$ ger en reduktion av buller på marken. Exempelvis redovisar Filippone [3] summariskt i en rent analytisk fallstudie från 2015 utfallet av att öka inflygningsvinkeln för en Boeing 737-800 (ett flygplan för 160-189 passagerare) från $3,0^\circ$ till $3,75^\circ$. Som förväntat minskar bullret på marken. Filippone nämner dock kortfattat att det inte är så enkelt att det ökade avståndet per automatik medför minskat buller, vilket ofta sägs i media och skapar "förvirring och orealistiska förväntningar". Filippone nämner vidare att man måste separera motorbuller från det aerodynamiska bullret och också beakta att ett förändrat hanterande av flygplanets aerodynamiska konfiguration mycket väl kan skapa ökat buller, eller åtminstone förändra bullerspridningen. På samma sätt beskriver Antoine et. al. i en artikel från 2004 [4], som baseras på ett flygplan för 280 passagerare, effekterna av att öka glidbanan från $3,0^\circ$ till $4,5^\circ$ i steg om $0,5^\circ$. Där konstateras detta ge en stegvis minskning av buller på marken från 91,6 till 89,1, 86,5 respektive 83,9 [EPNdB]. Studien konstaterar också, utan att närmare gå in i detalj på bakomliggande faktorer, att vid de låga gaspådrag som används vid inflygning så dominerar fläktbuller från motorerna samt det aerodynamiska bullret. Båda dessa källor beskrivs av Filippone [5] i en tidigare artikel såsom varandes kopplade till olika begränsningar i form av trafikledningsproblematik, flygsäkerhetsaspekter samt minskade möjligheter att bli av med flygplanets läges- och rörelseenergi. Just möjligheten att bli av med flygplanets totala energi är av central betydelse vid utformningen av olika inflygningsprocedurer som skulle kunna innebära minskat buller, exempelvis såsom fördröjd utfällning av landningsställ eller klaffar.

Att det aerodynamiska bullret vid flygning på en brantare glidbana skulle kunna ge betydande tillskott till det totala bullret belyses i en artikel av Kanjere et. al. [6]. Där beskrivs effekterna av att använda luftbromsar (för att bli av med flygplanets totala energi) i samverkan med framkants- och bakkantsklaffar. Även om denna artikel endast ger en ögonblicksbild av hur det skulle kunna vara på en specifik flygplanstyp, så beskriver den ändå komplexiteten kring det aerodynamiska bullret under en inflygning.

Av de studier med brantare glidbana som har genomförts har endast ett fåtal fokuserat på glidbanevinklar som är innanför de gränsvärden den internationella flygorganisationen ICAO föreskriver, och begränsat fokus har varit på flygoperativa aspekter. I det fall det skett har det främst varit i syfte att belysa flygsäkerhetsfrågor [7]. Förvisso ger fortfarande analytiska beräkningar vid handen att bullret på marken bör minska men vid de få tillfällen då mindre ökning av glidbanan har prövats med verkliga flygningar har tvetydiga resultat uppnåtts. Vid provflygning i tyska Brunswick med en Boeing 737-700 fann Toeppen et. al. [8] att vid en av två testflygningar av en $3,2^\circ$ glidbana så ökade bullernivåerna på marken istället för att

Slutrapport Förstudie Brantare

minska. Någon entydig förklaring till bullerökningen kunde inte ges, men oberoende av det så väcker resultatet frågor rörande de flygoperativa procedurernas påverkan på möjligheter till reduktion av buller vid något brantare inflygningar.

De flygoperativa procedurerna var i fokus vid en studie utförd i Tyskland där Koenig et. al. [9] 2011 presenterade resultatet av 176 inflygningar utförda i en Airbus A330-322-simulator där fokus dels var på att beräkna buller och dels på att verifiera möjligheten av att flygoperativt bemästra inflygningar med glidbanevinklar på 3,2° respektive 3,5°. Studien konstaterade att ökad glidbanevinkel medförde minskat buller på marken. Studien konstaterade också, baserat bland annat på de 16 deltagande piloternas åsikter, att en glidbanevinkel på 3,2° inte i normalfallet innebär några operationella eller flygsäkerhetsmässiga begränsningar. För en glidbana på 3,5°, eller vid starkare medvind på en 3,2° glidbana, förutsågs en ökad risk för att en avbruten inflygning eventuellt skulle behöva genomföras. Förutom vindens inverkan på de flygoperativa handhavandet påverkar naturligtvis också vind och andra väderparametrar bullerutbredningen vilket kan ge olika, positiva eller negativa, effekter över bullerdrabbade områden.

Generellt förefaller bullernivåerna som helhet sänkas vid brantare glidbana, speciellt vid flygplatser med inflygningar brantare än 3,5°. Dock är det bara vissa flygplan som klarar av och är godkända för dessa inflygningar, t.ex. vid London City Airport. I dessa fall är det tal om glidbanevinklar som inte är tillåtna med nuvarande regelverk enbart i syfte att minska buller.

Mot bakgrund av att ICAOs regelverk [10] för konstruktion av inflygningsprocedurer med ILS föreskriver att: *“Glide path angles above 3.5° should be used in approach procedure design only for obstacle clearance purposes and must not be used as a means to introduce noise abatement procedures. Such procedures are non-standard and require a special approval.”* så valde flygplatsen Frankfurt Main under 2012 att införa en testverksamhet där en glidbana på 3,2° utprovades under två år [11]. Testerna visade en reduktion av maxbullernivåer på 0,5 – 1,5 dB(A). Variationerna berodde dels på respektive mätpunkts läge och dels på vilken flygplanstyp som uppmättes. Som en följd av de positiva resultaten valde därefter flygplatsen att permanenta utrustningen och införa proceduren i den dagliga verksamheten. Ytterligare en flygplats som valt att testa en glidbana på 3,2° är London Heathrow. I London refererar flygplatsen till testerna i Frankfurt som lyckosamma och man har därför utfört motsvarande tester under perioden september 2015 – mars 2016 [12]. Kritiska röster har dock hörts vad gäller testerna i både Frankfurt och London. I London ifrågasätter exempelvis den brittiska pilotföreningen (BALPA) huruvida det inte finns en risk att buller från landningsställ och klaffar kommer att öka eftersom dessa kan komma att fällas ut tidigare under inflygningen [13]. BALPA anser att detta förändrade beteende inte utretts ordentligt och att så behöver göras.

Graham et. al. [14] jämför resultatet av ett antal studier vad gäller möjligheten att minska utsläpp av CO₂, NO_x samt buller. Det konkluderas att signifikanta framtida minskningar av utsläpp är möjliga, dock inte på den nivå som specificeras av ACARE (Aviation Research and Innovation in Europe), både i deras ”Vision for 2020” [15] och den senare ”FlightPath 2050” [16]. Deras vision bedöms som orealistisk. Graham et. al. föreslår istället att större fokus bör läggas på ett förändrat beteende hos operatörerna. Detta baserat på nuvarande teknik i

Slutrapport Förstudie Brantare

stället för att enbart lita på att teknikutvecklingen kommer att lösa olika problem. Detta kan åstadkommas till exempel genom förändrade inflygningsprocedurer. Detta stöds även av andra forskare, exempelvis Reynolds [17], som belyser samma problematik ur perspektivet att flygtrafikledningens bättre måste möjliggöra för operatörerna att flyga flygplanen på ett optimalt sätt. Även ICAO för fram de operationella procedurerna som en av de viktiga delarna för att uppnå framtida bullerminskningar. [18]

Medvetenheten om hur viktigt det operativa handhavandet av flygplanet är för bullerspridningen visar sig, till exempel genom att flera flygplatser försöker påverka den flygoperativa inflygningsproceduren för att minska bullerpåverkan över känsliga områden. Ett exempel är Düsseldorf där flygplatsen, av bullerskäl, rekommenderar fart och flygplanskonfiguration vid givna distanser från bantröskeln [19].

Eftersom syftet med projekt Brantare är att ge kunskap om hur piloters sätt att flyga varierar med glidbanevinkeln och under vilka förutsättningar tillämpning av ändrad glidbanevinkel är lämpligt, kan följande potentiellt uppnås:

- 1) En ökad förståelse för det flygoperativa beteendet hos piloterna givet olika glidbanevinklar.
- 2) En ökad förståelse för de flygoperationella möjligheter/begränsningar som är kopplade till en förändrad glidbanevinkel.
- 3) Ökad förståelse för vilka möjligheter som finns att införa procedurer för minskning av bullerstörning, med hänsyn till rådande vind.

4 Samhällsnytta och centrumrelevans

I takt med att motorernas del av buller från flygplan minskar i samband med en approach blir det allt viktigare att förstå hur buller skapas från flygplanet i övrigt, och hur piloternas hantering av flygplanet påverkar denna bullergenerering (hastighet, tidpunkt för olika klafflägen/landningsställ etc.). I tidigare studier relaterat till brantare glidbana har litet eller inget fokus varit på den förändrade bullerspridning som uppstått på grund av förändrad hantering av flygplanets konfiguration med hänsyn till den brantare glidbanan. Utan en sådan förståelse finns risk att en förändring av glidbanans vinkel kan få direkt motsatt effekt vid ett specifikt avstånd från bantröskeln.

Syftet med CSA är att skapa en svensk världsledande forskning kring styrning och drift av luftfarten med hänsyn till miljön, särskilt buller. Det kan därmed vara av vikt att CSAs forskningsinsats samordnas så att projekt kompletterar och förstärker varandra. Brantare avser därför att skapa synergieffekter genom att samverka primärt med de föreslagna projekten SAFT samt ULLA vid KTH/MWL, och därmed nå en ökad förståelse för:

- Hur det potentiellt förändrade flygoperativa beteendet kopplat till en förändrad glidbanevinkel kan förväntas påverka bullerspridningen i varje punkt längs en inflygning.
- Hur bullerspridningen kan förändras (t.ex. minska i ett område men öka i ett annat) med hänsyn till aktuell vind och faktiskt glidbanevinkel.

Slutrapport Förstudie Brantare

Brantare kommer även i viss grad samverka med det föreslagna projektet INFRA. Denna samverkan kommer vara av en karaktär som är mer inriktad på Brantares potentiella roll i förändring av ett sociotekniskt system. INFRA kommer få kunskap om vad som är tekniskt och operativt genomförbart eller ej, och Brantare kommer kunna få kunskap om vilka steg i en förändringsprocess som måste adresseras för att en förändring ska kunna bli möjlig, och därmed kunna se till att tillräcklig information finns med som ett resultat av Brantare så att en meningsfull förändring kan vara möjlig att genomföra.

Totalt sett kan denna kunskap bidra till att minska buller runt en flygplats kopplat till flygplans inflygningar.

Det av förstudien resulterande forskningsförslaget berör följande kärn- och komplementområden som definierats i utlysningen:

Kärnområde	Komplementområde
Flygtrafikledning och flygbanor	Meteorologi
Ljudutbredning	Flygsystemsförändring (utveckling och implementering)
	Hållbarhetsaspekter som miljö och flygsäkerhet

Vad som kan förutses är en fortsatt ökad konflikt mellan bullerminskning och andra utsläpp till luft. Kompromisser vad gäller bränseleffektivitet kan behöva göras om bullerminskningar ska kunna uppnås.

5 Resultat

Det primära resultatet av denna förstudie är den forskningsansökan som skickats in till Centrum för hållbar luftfart. Denna forskningsansökan tar hänsyn till att många faktorer måste beaktas för att en inflygningsprocedur skall vara lämplig och i praktiken kunna användas annat än i experiment eller vid tillfällena med låg trafikintensitet. För att få en större mängd data att analysera, utan att ändra befintliga inflygningsprocedurer, avses studeras piloters operativa handhavande av flygplanet ovanför 500 fots höjd, vilket är den höjd på inflygningen där flygplanet allra senast normalt ska vara stabiliserat i landningskonfiguration [20]. Genom att extrahera vinddata och korrigera inflygningen på den nominella fysiska glidbanan med hänsyn tagen till flygplanets fart samt med- eller motvind kan en ekvivalent glidbana definieras som motsvarar den glidbana som skulle ha flugits om det varit vindstilla. Medvind innebär då att den uträknade nollvindsglidbanan är brantare än den nominella glidbanan och motvind innebär att nollvindsglidbanan är flackare än den nominella glidbanan. Denna metodik möjliggör alltså en avsevärt större datamängd att arbeta med utan att vara beroende av en faktisk implementering av en förändring i existerande inflygningsprocedurer.

För att kunna nyttja befintliga procedurer och dra meningsfulla slutsatser krävs tillgång till data från verkliga flygplans färdskrivare (Flight Data Recorders, FDR) vilket i sin tur kräver

Slutrapport Förstudie Brantare

medverkan från ett eller flera flygbolag. Med tillgång till FDR-data, och analys av denna data med hänsyn till en motsvarande nollvindsglidbana, bör en större förståelse för hur glidbanans vinkel påverkar operationerna och flygplanets konfigurering nås. Sådan information kan inte hämtas från andra datakällor. Radardata som ofta används för studier av flygtrafik innehåller exempelvis inte information om flygplans klaffläge, användande av luftbromsar eller motordata. Just möjligheten att använda FDR-data kan även ge nya möjligheter att utveckla förståelsen för hur flygplanets olika ljudgenererande delar bidrar till dess bullerprofil.

För att kunna genomföra ett huvudprojekt inom ramen för utlysningen som Centrum för hållbar luftfart presenterat har därför föreslagits ett projekt med fem arbetspaket enligt nedan. Projektet föreslås sträcka sig över 24 månader med arbetspaket och tidplan såsom:

5.1 Tidplan

	2016		2017				2018	
	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2
WP0	[Gantt bar from Q3 2016 to Q2 2018]							
WP1	[Gantt bar from Q3 2016 to Q1 2018]							
WP2	[Gantt bar from Q4 2016 to Q1 2018]							
WP3	[Gantt bar from Q2 2017 to Q2 2018]							
WP4	[Gantt bar from Q3 2016 to Q2 2018]							

5.2 Arbetspaket

5.2.1 WP 0 Administration

Arbetspaketet bör vara kontaktyta mot CSA och rapportera i enlighet med CSAs önskemål. I övrigt projektinterna kvartalsvisa uppföljningsmöten för att konfirmera att alla WP håller tidsplan. Bör arrangera kick-off, slutmöte och ansvara för slutrapport och framtagande av interna delrapporteringar. Framtagande av erforderliga sekretessavtal avseende FDR-data.

5.2.2 WP 1 Datainsamling

Arbetspaketet bör ansvara för att erforderlig FDR-data samlas in, lagras och görs tillgänglig för analys.

5.2.3 WP 2 Dataanalys

Arbetspaketet bör ansvara för att analys av insamlade data genomförs.

Variabler som förstudien initialt konstaterat vara tänkbara att analysera är:

- Höjd för slutlig inflygningsfart
- Samband mellan nollvindsglidbanan och

Slutrapport Förstudie Brantare

- Användning av motorpådrag
- Tidpunkt för olika klafflägen
- Höjd för utfällning av landningsställ
- Användning av luftbromsar
- Effekt på operationellt beteende vid signifikanta vindvridningar under inflygningen
- Effekter av flygplanets totala energi (läges- och rörelse-) vid inflygningens början
- Relationen mellan nollvindsglidbanans vinkel och flygplanets totala energi i förhållande till vad som är operationellt möjligt för att utföra en stabiliserad inflygning.

Utöver detta har ytterligare ett 30-tal variabler konstaterats som potentiellt intressanta för fortsatta studier.

5.2.4 WP 3 Rapportering och informations spridning

Arbetspaketet bör ansvara för författande av slutrapport, sammanställning av underlag för vetenskapliga artiklar samt deltagande i konferenser.

5.2.5 WP 4 Koordinering med andra potentiella projekt finansierade genom Centrum för hållbar luftfart

Arbetspaketet bör ansvara för koordinering med övriga potentiella projekt (primärt SAFT, ULLA och INFRA) kopplade till CSA i syfte att säkerställa att de i mån av behov också kan dra nytta av FDR-data, den flygoperationella analysen och dess konklusioner.

5.3 Projektorganisation

För huvudprojektets genomförande har föreslagits en organisation av medarbetare som har kompetens inom ett flertal områden såsom; generell forskningskompetens, industriell organisation, förändringsarbete, riskanalys, flygoperativ kompetens, riskanalys av flygoperationer, statistisk analys, generell databaskunskap samt kompetens inom extrahering av flygdata.

Projektdeltagare	Kontaktperson	Roll inom projektet
KTH/ITM	Pernilla Ulfvengren	Huvudsökande, senior forskare
Natmer AB	Johan Rigné	Projektledare, Flygoperativ analys
Vernamack AB	Bengt Moberg	Dataanalys, Flygoperativ analys
KTH/ABE	Per Näsman	Statistisk analys, senior forskare
Novair	Ulrika Ziverts	Leverantör flygdata

Slutrapport Förstudie Brantare

Referenser

- [1] D. Rhodes, "The 2013 Greener by Design conference," [Online]. Available: <http://aerosociety.com/Assets/Docs/Events/723/Darren%20Rhodes.pdf>. [Använd 15 Oktober 2013].
- [2] J. A. Zalovcik, "Effect of thrust and altitude in steep approaches on ground track noise," NASA, Langley, 1967.
- [3] A. Filippone, "Does Steep Descent Cut Aircraft Noise?," The University of Manchester, Manchester, 2015.
- [4] N. E. Antoine och I. M. Kroo, "Aircraft Optimization for Minimal Environmental Impact," *Journal of Aircraft*, vol. 41, pp. 790-797, 2004.
- [5] A. Filippone, "Aircraft noise prediction," *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 68, pp. 27 - 63, 2014.
- [6] K. Kanjere, X. Zhang, Z. Hu och D. Angland, "Aeroacoustic Investigation of Deployed Spoiler during Steep Approach Landing," i *16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, Stockholm, 2010.
- [7] B. Moberg, J. Rignér och P. Ulfvengren, "Förstudie för metodutveckling för inflygningsprocedurer för minskat buller," Trafikverket, Stockholm, 2014.
- [8] H. H. Toebben, V. Mollwitz, L. Bertsch, R. M. Geister, B. Korn och D. Kügler, "Flight testing of noise abating required navigation performance procedures and steep approaches," *Journal of Aerospace Engineering*, pp. 1-12, 2013.
- [9] K. R och S. E, "On the Influences of an Increased ILS Glide Slope on Noise Impact, Fuel Consumption and Landing Approach Operation," i *14th Australian Aeronautical Conference*, Melbourne, 2011.
- [10] ICAO, *ICAO Doc 8168, Vol II Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*, Montreal: ICAO, 2014.
- [11] Deutscher Flugsicherung, "DFS," 19 12 2014. [Online]. Available: https://www.dfs.de/dfs_homepage/en/Press/Press%20releases/2014/19.12.2014.-%20Active%20noise%20protection/.
- [12] LHR Airports Ltd, "Hetahrow Aircraft noise," Heathrow Community Relations Team, 2015. [Online]. Available: www.heathrow.com/file_source/HeathrowNoise/Static/Steepier_Approaches_trial_fact_sheet.pdf.

Slutrapport Förstudie Brantare

- [13] P. Davies, "Airportwatch," 17 09 2015. [Online]. Available: <http://www.airportwatch.org.uk/2015/09/balpa-questions-effectiveness-of-heathrow-3-2-degree-approach-trial-noise-might-even-increase/>.
- [14] W. R. Graham, C. A. Hall och M. Vera Morales, "The potential of future aircraft technology for noise and pollutant emissions reduction," *Transport Policy*, vol. 34, pp. 36 - 51, 2014.
- [15] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation , European Aeronautics: A Vision for 2020, Luxemburg: EU-kommissionen, 2001.
- [16] EU-kommissionen, Flightpath 2050 - Europe's Vision for Aviation - Report of the High Level Group on Aviation Research, Luxemburg: EU-kommissionen, 2011.
- [17] T. G. Reynolds, "Development of Flight Inefficiency Metrics for Environmental Performance Assessment of ATM," i *Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*, Napa, 2009.
- [18] ICAO, DOC 9829 Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management Ed 2, Montreal: ICAO, 2008.
- [19] Lufthansa, "mPilot," Lufthansa, Frankfurt, 2016.
- [20] Europeiska unionen, "Kommissionens förordning (EU) nr 965/2012 av den 5 oktober 2012 om tekniska krav och administrativa förfaranden i samband med flygdrift enligt Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 216/2008, konsoliderad utgåva 2016-02-18," *Europeiska unionens officiella tidning*, pp. 1-148, 18 02 2016.
- [21] European Aviation Safety Agency, "Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV - Part-CAT, Consolidated version including issue 2, Amendment 5," European Aviation Safety Agency, 2016.