

Slutrapport projekt Brantare

Stockholm, 7 mars 2019

Projektdeltagare:

INDEK

(Huvudsökande)
Pernilla Ulfvengren
KTH Royal Institute
of Technology
100 44 Stockholm

Center for Safety Research

Per Näsman
KTH Royal Institute
of Technology
100 44 Stockholm

Natmer AB

(Projektledare)
Johan Rignér
Vasseurs Väg 16
182 39 Danderyd

Nova Airlines AB (Novair)

Henrik Ekstrand
Box 45439
104 31 Stockholm

Vernamack AB

Bengt Moberg
Box 357
101 27 Stockholm

Sammanfattning

BRANTARE är ett projekt som möjliggjorts genom Centrum för hållbar luftfart (CSA) vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) och finansierats av Trafikverket. Projektet har pågått under perioden oktober 2016 till och med september 2018. Projektgruppen är en sammansättning av personer med komplementär erfarenhet och kunskap: Johan Rignér (Natmer AB) och Bengt Moberg (Vernamack AB) med flygoperativ erfarenhet; Per Näsman (KTH) senior forskare inom datahantering och statistisk analys; Pernilla Ulfvengren (KTH) docent inom sociotekniska system med erfarenhet från flyget. Projektet har genomförts i samarbete med flygbolaget Novair som har tillgängliggjort inspelad flygoperativa data.

Syftet har specifikt varit att ge kunskap om de flygoperationella aspekterna och effekterna av inflygning med glidbanevinklar något större än vad som normalt används av flygplan vid inflygning till en flygplats. Att tillämpa en större glidbanevinkel minskar i teorin bullerpåverkan från ankommande flygplan genom att avståndet mellan bullerkällan och det störda området på marken ökar. Flygoperativt innebär detta en brantare glidbana och således också en annorlunda hantering av flygplanets läges- och rörelseenergi. Ett förändrat sätt att flyga kan då medföra nya mönster av bullerspridning vid inflygningen.

Flera faktorer bidrar till att det är svårt att genomföra faktiska försök med brantare glidbana och därmed studera piloters operationella beteende. Svårigheter kan t.ex. vara brist på inflygningar med brantare glidbanevinkel eller problem att praktiskt genomföra experimentflygningar med temporär inflygningsprocedur med hänsyn till annan trafik, krav på trafikavveckling etc. Projektets idé är följaktligen att använda faktiska vinddata insamlade vid normala inflygningar med $3,0^\circ$ glidbanevinkel och att använda dessa data för att räkna ut vad en motsvarande glidbanevinkel hade varit om det hade varit vindstilla. Därigenom kan en brantare inflygning approximeras när vinddata indikerar medvind under inflygningen, och därmed kan piloters operationella beteende vid en brantare inflygning studeras. Denna omräknade glidbanevinkel, baserad på faktisk vinddata, kallas här för *ekvivalent nollvindsglidbana*.

Projektarbetet har utförts i flera steg: utveckling av beräkningsmetodik för ekvivalent nollvindsglidbana; insamling, hantering och analys av relevant data, både flygdata och vinddata, samt validering av metod och resultat. För projektet har flera metoder använts. Övergripande har det varit stort fokus på piloter som deltagit i ett seminarium och intervjuer för både utveckling av modell, metod och uppföljning av resultat rörande ekvivalent nollvindsglidbana. Ett av projektets resultat är att ekvivalent nollvindsglidbana kan användas för att approximera piloters operationella beteende vid brantare glidbana. När den valda metoden med ekvivalent nollvindsglidbana tillämpas på data så konstateras att, om metoden vore direkt överförbar på verkliga inflygningar, så skulle piloterna fälla ut både landningsställ och det sista steget klaff, landningsklaff, på en högre höjd vid brantare inflygningar. På grund av den förändrade geometrin med en brantare glidbanevinkel skulle detta dock ske närmare landningsbanan för inflygningar med en brantare glidbana än för inflygningar med $3,0^\circ$ glidbanevinkel.

Projektet Brantare har ökat kunskapen om hur flygoperativt beteende ändras vid ökad glidbanevinkel. Detta kan förändra bullerexponering runt flygplatsen. Fortsatt forskning krävs för att fastställa vilken reell förändring på buller det ändrade flygoperativa beteendet kan få.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
1 Projektbeskrivning.....	4
2 Resultat och analys.....	7
2.1 Från seminarium och intervjuer.....	7
2.1.1 Kvantitativa resultat från seminarium och intervjuer.....	8
2.2 Analys av flygdata.....	8
2.3 Analys av jämförelse mellan resultat från seminarium och intervjuer respektive analys av flygdata.....	10
2.3.1 Användning av flygdata för ökad pilotprecision.....	11
3 Diskussion.....	11
4 Slutsatser.....	13
5 Resultatspridning.....	14
6 Framtida forskning.....	14

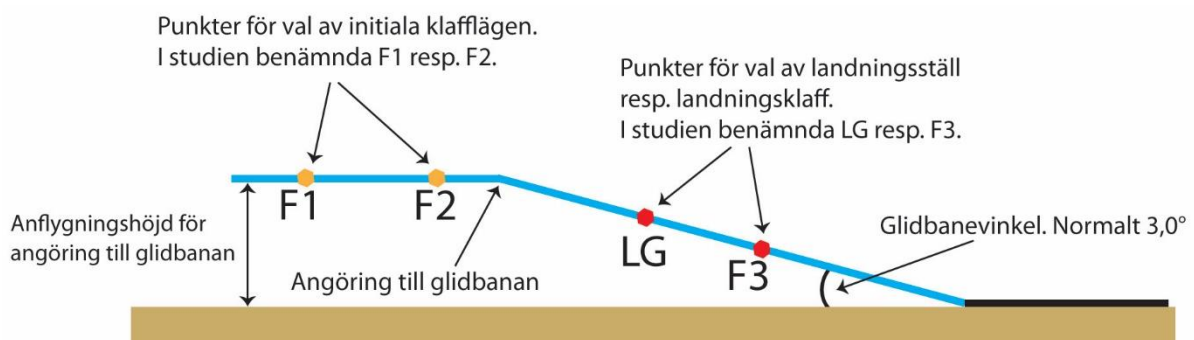
1 Projektbeskrivning

KTH har tillsammans med Trafikverket skapat ett centrum för hållbar luftfart (Centre for Sustainable Aviation, CSA) med primärt fokus på flygets bullerfrågor. I samband med utlysning av forskningsanslag 2016 beviljades projekt Brantare forskningsmedel. Projektet har pågått under perioden oktober 2016 till och med september 2018.

Brantare är ett projekt vars mål har varit att bidra till minskat buller kring flygplatser. Syftet har specifikt varit att ge kunskap om de flygoperationella aspekterna och effekterna av inflygning med glidbanevinklar något brantare än vad som normalt används av flygplan under slutlig inflygning till en flygplats. En normal glidbanevinkel är $3,0^\circ$. Vissa avvikelser kan förekomma, bl.a. med hänsyn till hinderfrihet till omkringliggande terräng. Om en glidbanevinkel är brantare än $3,5^\circ$ definieras den i det internationella regelverket som en "brant inflygning" och får då endast användas för att undvika terräng eller andra hinder.

Att tillämpa en brantare glidbanevinkel minskar i teorin bullerpåverkan från ankommande flygplan genom att avståndet mellan bullerkällan och det störda området på marken ökas. Flygoperativt skulle detta innebära en förändring av glidbanevinkeln och potentiellt således en annorlunda hantering av flygplanets läges- och rörelseenergi. Ett sådant förändrat sätt att flyga kan då medföra nya mönster av bullerspridning vid inflygningen. Detta skulle kunna förta den önskade bullerminskande effekten, och till och med kunna få direkt motsatt effekt för vissa områden på marken.

Vissa inflygningsprocedurer till olika flygplatser har glidbanevinklar betydligt högre än den normala $3,0^\circ$ glidbanevinkeln. Detta är typiskt flygplatser där terrängen omöjliggör inflygning med den normala glidbanevinkeln. Flera flygplatser har dock implementerat något brantare inflygning, antingen permanent eller i evalueringssyfte, i syfte att minska buller. Så har t.ex. skett i Frankfurt am Main och London Heathrow där en generell bullerreducering har kunnat verifieras vid $3,2^\circ$ glidbanevinkel.



Figur 1. Schematisk bild över en normal instrumentinflygning.

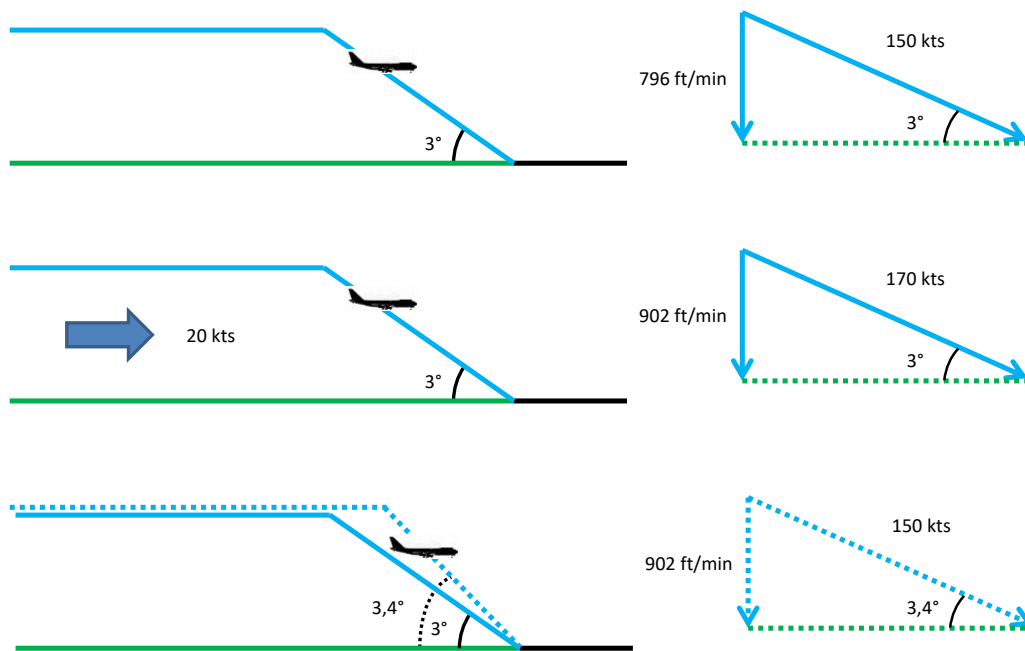
Flera faktorer bidrar till svårigheten att genomföra faktiska försök med brantare glidbana, och att i samband med detta studera piloters operationella beteende. Sådana inflygningsprocedurer måste skapas (t.ex. av en flygplattshållare) och godkännas av lokala myndigheter, inflygningsprocedurer måste även passa in i den dagliga trafikavvecklingen, flygbolag som opererar på en sådan flygplats måste vara villig att dela med sig av insamlade flygdata etc. Projekt Brantare bygger på möjligheten att använda vinddata

inspelade ombord på ett flygplan för att räkna om en normal 3,0° glidbanevinkel till den brantare glidbanevinkel flygplanet flyger genom luften under medvindsförhållanden.

Illustrativt kan projekt Brantare beskrivas med ett exempel såsom i figur 2 nedan. Överst i figur 2 ses ett flygplan som i vindstilla förhållanden flyger en normal inflygning med 3,0° glidbanevinkel. Eftersom det är vindstilla så är farten genom luft och relativt marken lika och antas här vara 150 knop. Den vertikala sjunkhastigheten motsvarar då 792 fot/min. vilket kan härledas med trigonometri och omräkning mellan olika längdenheter.

I den mellersta bilden flyger samma flygplan samma inflygning med 20 knop medvind. Farten genom luften är fortfarande 150 knop, men farten relativt marken blir då 150+20 knop pga. medvinden, dvs. 170 knop. Eftersom glidbanevinkeln är konstant 3,0°, kommer detta leda till en högre vertikal sjunkhastighet på 902 fot/min.

Om denna högre vertikala sjunkhastighet (902 fot/min.) används i ett scenario där det är vindstilla, motsvarar detta att flygplanet flyger längs en glidbana med 3,4° glidbanevinkel, farten är 150 knop relativt både marken och luften. Detta motsvarar den streckade flygbanan i den nedre delen av figur 2 och är det som i projektet definierats som den *ekvivalenta nollvindsglidbanan* (på engelska *Equivalent Zero Wind Glide Slope, EZWGS*).



Figur 2. Beskrivning av vindpåverkan och framtagen metod i projekt Brantare.

Ur figur 2 ovan kan den ekvivalenta nollvindsglidbanan α_2 härledas då;

α_{GS} = Den nominella glidbanevinkeln (som vanligtvis är 3,0°)

y = anflygningshöjden

z_1 = den sträcka flygplanet färdas över marken (heldragen blå linje i figur 2)

z_2 = den sträcka flygplanet färdas genom luften (streckad blå linje i figur 2)

v_{TW} = hastigheten på den medvind flygplanet flyger i

v_{app} = flygplanets fart genom luften

Med sambanden;

$$\sin \alpha_{GS} = y/z_1, \sin \alpha_2 = y/z_2 \text{ och (för små } \alpha), z_2/z_1 = v_{App}/(v_{App} + v_{TW})$$

fås den ekvivalenta nollvindsglidbanans glidbanevinkel α_2 såsom;

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{(v_{App} + v_{TW})\sin \alpha_{GS}}{v_{App}}\right)$$

Projekt Brantare bygger dessutom på två antaganden:

1. Piloters operationella beteende förändras när de flyger brantare inflygningar och,
2. Förändringen i piloters operationella beteende kommer att vara snarlikt för medvindsinflygningar och brantare inflygningar.

Projektets idé är följaktligen att använda inspelade vinddata för att approximera en brantare inflygning där piloters operationella beteende vid en brantare inflygning kan evalueras. Denna omräknade glidbanevinkel, baserad på faktiska vinddata, kallas här för *ekvivalent nollvindsglidbana*.

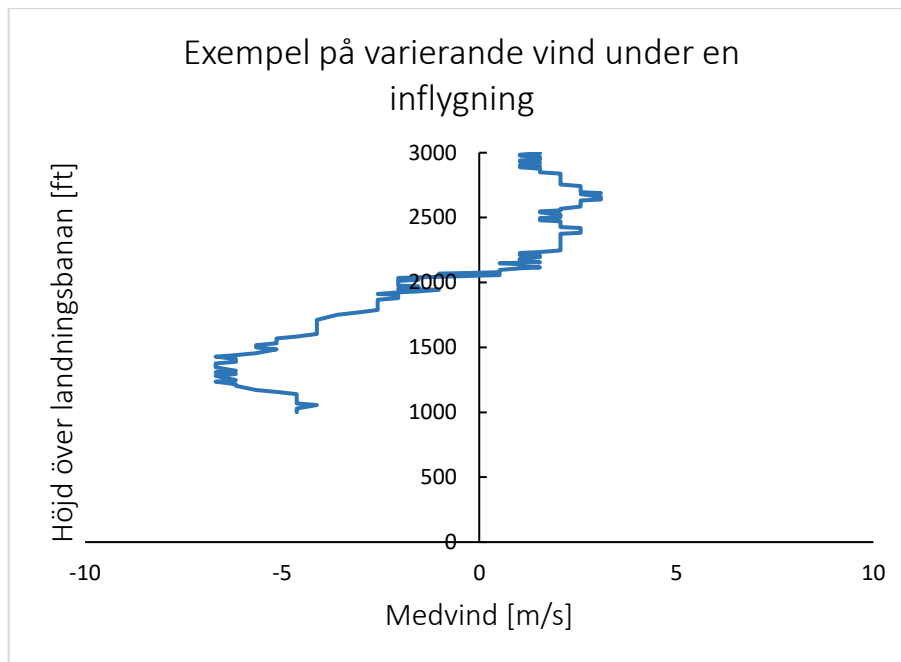
Projektarbetet har utförts i flera steg:

- Framtagande av beräkningsmetodik för ekvivalent nollvindsglidbana, speciellt med fokus på vilken del av inflygning det är relevant att beakta vinden. Detta arbete har primärt skett i form av:
 - En workshop med 10 piloter från SAS och Novair.
 - Intervjuer med 10 stycken andra piloter från SAS och Novair.
- Insamlande av flygdata från Novair (totalt 1389 flygningar).
- Analys av flygdata (1159 flygningar med användbara data varvid 172 inflygningar skedde i medvind).
- Uppföljningsintervjuer med ytterligare 10 piloter från SAS.
- Konferensbidrag och tidskriftsartiklar.
- Slutrapport.

2 Resultat och analys

2.1 Från seminarium och intervjuer

Ett av målen med seminarium och intervjuer med piloterna var att fastställa under vilken del av inflygningen det är relevant att tillämpa metodiken med ekvivalent nollvindsglidbana. Detta mål var viktigt att uppnå eftersom vinden under en inflygning inte är konstant, vare sig i riktning eller styrka (se figur 3).



Figur 3. Vinddata från en inflygning som visar hur vinden (i meter/sekund [m/s]) kan variera med avseende på höjden (i fot [ft]) under en inflygning

Ett antal olika möjligheter till beräkningsmodeller presenterades för piloterna under seminariet och ytterligare några kom fram som ett resultat av de diskussioner som fördes under seminariet. Baserat på dessa diskussioner och som ett resultat av intervjuerna bestämdes att använda den genomsnittliga vinden från det att flygplanet angör glidbanan under inflygningen tills dess att landningsstället fälls ut, för beräkning av den ekvivalenta nollvindsglidbanan.

Ytterligare ett mål med seminarium och intervjuer var att verifiera huruvida projektets antaganden om hur piloter agerar under medvindsförhållanden respektive brantare glidbanor var korrekta. Resultaten rörande detta var relativt samstämmiga och kan sammanfattas på följande sätt:

- Alla piloter förstod och var eniga om konceptet med en ekvivalent nollvindsglidbana. På seminariet uttryckte piloterna att det var ett "uppenbart" koncept.
- Piloter har i allmänhet en grundläggande plan för sitt operativa förfarande. Planen är att alltid fälla ut sådant som orsakar luftmotstånd (dvs. klaffar som fälls ut i olika steg och landningsställ) så sent som möjligt under en inflygning. Primärt i avsikt att flyga bränsleeffektivt. Det finns dock stora skillnader i flygbolagskultur etc. där många

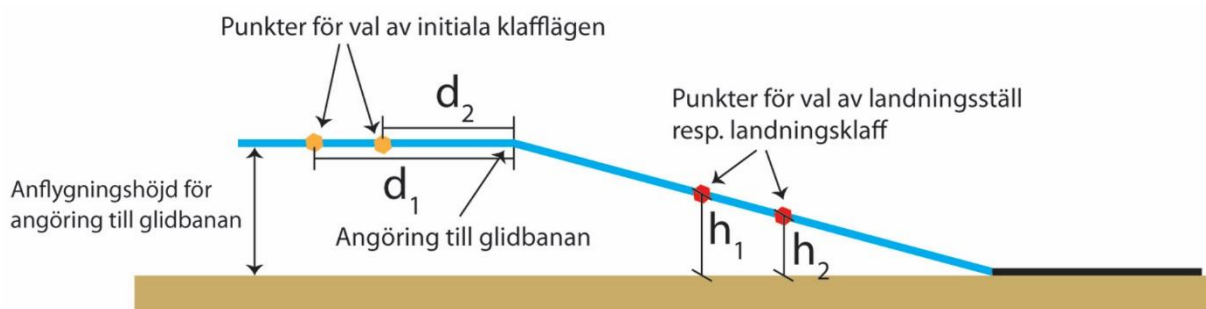
flygbolag i andra världsdelar opererar flygplanen något annorlunda än vad vi typiskt ser i Europa.

- För att flyga en given inflygning utvecklar piloten en mental plan under flygningen. Denna plan justeras sedan kontinuerligt under själva inflygningen.
- Att fälla ut landningsstället anses av piloterna vara den mest effektiva metod de har för att reducera den kinetiska energin hos flygplanet. Samtidigt används den bara som en sista utväg om flygplanet av någon anledning måste bromsas.
- Vissa kaptener rapporterar att det är uppenbart att det finns andra individuella preferenser för att fälla ut klaffar än den de själva har. Detta är något de har upplevt med exempelvis nyanställda styrmän som kommer från andra flygbolag och en annan operationell miljö.
- En majoritet av piloterna sa att de har en mental "lägsta höjd" vid vilken landningsstället senast måste fällas ned.

2.1.1 Kvantitativa resultat från seminarium och intervjuer

Vid seminariet och vid intervjuerna fick piloterna fylla i svarsformulär rörande sitt agerande vad gäller utfällning av klaffar och landningsställ vid inflygningar med olika medvind och/eller glidbanevinklar. Flygplanets klaffar fälls normalt ut i olika steg inför landning, oftast tre för den flygplanstyp som har studerats. I studien har de tre olika klafflägena betecknats F1 för det första klaffläget, F2 för det andra och F3 för det tredje och sista klaffläget som är det klaffläge som oftast används vid landning. Utfällning av landningsställ, som här benämns LG, sker nästan uteslutande då flygplanet har klaffarna i läge F2. Samtliga piloter var av uppfattningen att ju starkare medvind de flyger i, eller vid en brantare glidbana än normalt, så kommer all utfällning av klaffar eller landningsställ att ske i ett tidigare skede av inflygningen. För de två initiala förändringarna av klaff, F1 och F2, uttrycktes detta "tidigare" som ett avstånd till punkten för angöring till glidbanan. Denna punkt användes som referenspunkt oavsett anflygningshöjd före angöring till glidbanan, se figur 4 nedan.

För landningsklaff och landningsställ användes höjden över landningsbanan för att avgöra om ett val utfördes tidigare eller senare.



Figur 4. Referenser för val av initiala klafflägen (avstånden d_1 och d_2 i figuren) respektive val av landningsställ och landningsklaff (höjderna h_1 och h_2 i figuren).

2.2 Analys av flygdata

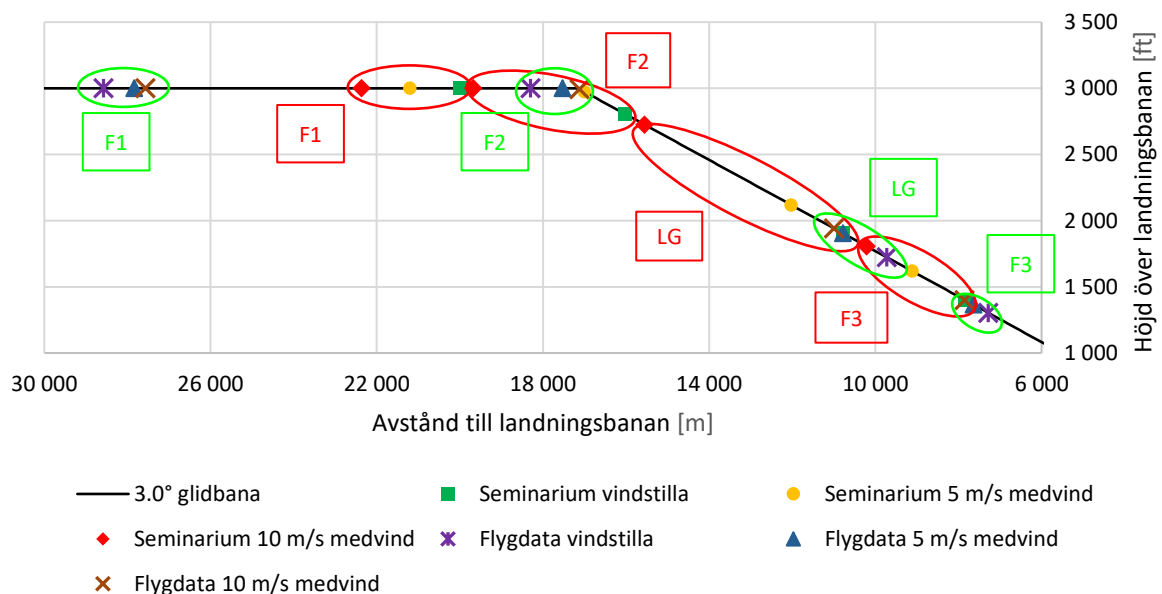
Vid den inledande analysen av flygdata (1389 flygningar) rensades de flygningar bort där kontinuerliga data inte registrerats, där inflygningen avbrutits, där inflygningen inte

följt instrumentlandningssystemet eller där data av andra skäl kunnat antas vara felaktig. Efter denna tvätt av data kvarstod 1159 flygningar.

En första analys baserades på data från dessa 1159 flygningar, varvid motvind definierades som negativ medvind. Vid denna analys visades en signifikant korrelation mellan utfällning av klaffar och medvind. Sambandet visade dock att piloterna fäller ut klaffar senare med ökad medvind. Detta i motsats till vad piloterna svarade rörande med- och motvind under seminariet. Det måste dock noteras att piloterna inte specifikt tillfrågats om sitt agerande i motvind, varför det inte är korrekt att automatiskt anta att en motvind kan tolkas som en negativ medvind då det gäller att analysera piloternas agerande. För utfällning av landningsställ finns det dock en signifikant korrelation, som indikerar att piloterna fäller ut landningsstället vid en högre höjd i relation till landningsbanan när medvinden ökar, vilket är i linje med piloternas svar under seminariet vad gäller hantering av flygplanet i olika vindförhållanden.

För de 172 inflygningar som gjordes i verklig medvind konstaterades att den maximala ekvivalenta nollvindsglidbanan i de analyserade flygningarna var $3,47^\circ$, vilket är lägre än vad som definieras som en "brant inflygning" i det internationella regelverket.

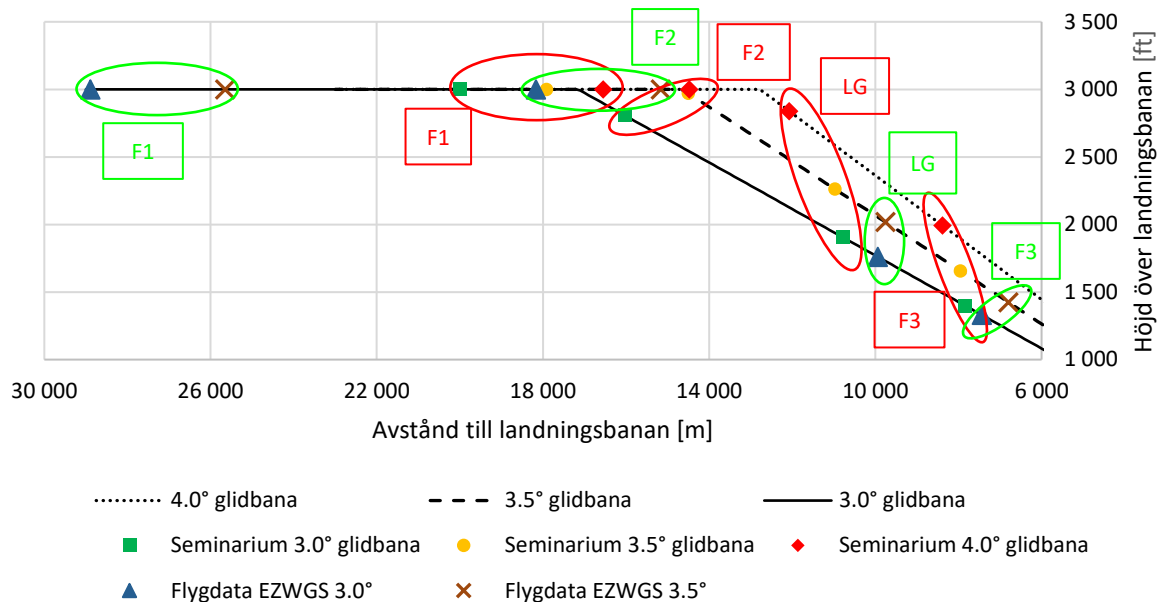
Det var också dessa 172 flygningar som i detalj reflekterade de frågor som ställdes vid seminarium och intervjuer. Analysen av data visade att användning av de två initiala klafflägena skedde senare vid medvind än vid motvind, detta i kontrast till vad piloterna uppgivit vid seminarium och intervjuer. Utfällning av landningsställ och landningsklaff valdes dock, vilket piloterna angivit vid seminarium och intervjuer, i ett tidigare skede av inflygningen då medvinden ökade (figur 5 nedan).



Figur 5. Tidpunkt för utfällning av klaff och respektive landningsställ vid olika vindar. Resultat från seminarium är grupperat inom röda cirklar, resultat från flygdata i blekgröna cirklar.

Då motsvarande medvind räknades om till ekvivalent nollvindsglidbana kunde dock konstateras att all utfällning av klaff och landningsställ skedde i ett tidigare skede av inflygningen såsom detta definierats i studien. För utfällning av de två initiala klafflägena var korrelationen emellertid inte signifikant. För utfällningen av landningsställ kunde en

signifikant Pearson-korrelation¹ vid 0,01-nivå fastslås mellan höjden och både medvind respektive ekvivalent nollvindsglidbana. På samma sätt kunde för utfällning av landningsklaff en signifikant Pearson-korrelation vid 0,05-nivå konstateras mellan höjden och både medvind respektive ekvivalent nollvindsglidbana (figur 6 nedan).



Figur 6. Tidpunkt för utfällning av klaff och respektive landningsställ vid olika glidbanevinklar. Resultat från seminarium är grupperat inom röda cirklar, resultat från flygdata i blekgröna cirklar.

2.3 Analys av jämförelse mellan resultat från seminarium och intervjuer respektive analys av flygdata

Övergripande kan konstateras att första initiala steget klaff väljs tidigare i verkligheten än vad som uttrycks i intervjuer med piloterna i undersökningen (se F1 i figur 5). Det andra steget klaff väljs i närheten av anslutning till glidbanan från anflygningshöjden, vilket inte sägs av piloterna i intervjuer men vilket förefaller ske i verkliga inflygningar. Slutligen fälls både landningsställ och landningsklaff ut senare i verkligheten än vad som uttrycks i intervjuer.

När den valda metoden med ekvivalent nollvindsglidbana tillämpas på data, konstateras att både landningsställ och landningsklaff fälls ut både närmare landningsbanan och vid en högre höjd då den ekvivalenta nollvindsglidbanan blir brantare (se figur 6). För utfällning av de initiala klafflägena kan inga slutsatser dras annat än att det andra steget klaff (F2 i figurerna ovan) för den aktuella flygplanstypen, sker i nära anslutning till angöring av glidbanan. För det första steget klaff (F1 i figurerna ovan) kan resultaten ha påverkats av att en stor del av de analyserade inflygningarna skett vid flygplatser där en aktiv fartkontroll från flygtrafikledningen påverkar flygningarna på ett sådant sätt att första steget klaff måste väljas tidigare än vad piloterna själva skulle ha

¹ Pearsons korrelationskoefficient innebär att korrelationen beräknas som kovariansen mellan två variabler dividerat med de båda variabelernas standardavvikelse.

valt om de kunnat flyga utan styrning av farten från flygtrafikledningen. Huruvida detta skett eller inte är en osäkerhet som måste tas hänsyn till.

Resultaten från seminarium, intervjuer och dataanalys stöder metoden med ekvivalent nollvindsglidbana för hantering av landningsställ och klaff. Piloterna anger även att det finns flera olika flygoperativa mål som kan påverka hur en brantare glidbana flygs. Ett sådant mål är att flyga bränsleeffektivt. Detta skulle kunna leda till att piloter väntar med att fälla ut klaff och/eller landningsställ så länge de kan om de upplever att inflygningen är stabiliserad och att de har kontroll på flygplanets energi. Klaffar och landningsställ skapar mer luftmotstånd och kräver därmed normalt ökat gaspådrag och ökad bränsleförbrukning för bibehållen fart. Landningsklaff och landningsställ har inte fällts ut markant tidigare i de analyserade flygningar som flugits i medvind. Detta trots att inflygningarna i studien genomförts i vindar som motsvarar en inflygning som i vindstilla skulle haft en glidbanevinkel på upp till $3,47^\circ$.

2.3.1 Användning av flygdata för ökad pilotprecision

Ett av resultaten visar att det finns skillnader i det beteende som piloter beskriver under seminariet och det faktiska beteendet som flygdata visar. Även om detta inte ingick i projektet att studera så gav detta idéer för utveckling av en metod för att öka situationsmedvetenhet och förbättra piloters precision. Då det inte är samma individer som deltagit i seminariet och som genererat flygdata så kan vi endast presentera metoden som koncept här. En metod för förbättrad kontrollstrategi och ökad pilotprecision föreslås där flygbolaget först ber piloten att ange sitt planerade och önskade beteende för en viss flygsituation. Därefter kan flygdata från en flygning, eller en serie liknande flygningar, ges som feedback till piloten som kan jämföra eventuell skillnad mellan avsedd och faktisk prestation. Flygbolag kan potentiellt använda aggregerad data för att övervaka flygoperativ prestation som en del av deras arbete med kvalitet eller säkerhet.

Kompletterande intervjuer genomfördes med syftet att bedöma potentialen i denna metod för förbättring av piloternas kontrollstrategi och precision, till exempel under inflygningsfasen, genom att använda flygdata insamlad efter flygning. Intervjuresultaten indikerar att det finns potential för denna metod men det krävs fortsatta studier för att undersöka detta närmare.

3 Diskussion

Brantare inflygningar kan potentiellt minska bullret på marken under inflygningssektorn. En brantare glidbana kräver att piloterna konfigurerar flygplanet inför landning på ett något annorlunda sätt för att hantera flygplanets rörelse- och höjdenergi. Den föreslagna metodiken i denna studie kan vara ett sätt att bedöma eventuell förändrat operationellt beteende hos piloter genom att använda vinddata för att approximera en brantare inflygning vid normala $3,0^\circ$ inflygningar.

Vid analys av resultatet från genomfört seminarium var det en stark korrelation mellan när olika grader av klaff väljs, respektive landningsställ fälls ut, och ökande medvind under inflygningen. När detta resultat jämförs med flygdata från faktiska inflygningar i medvindssituationer är resultatet inte lika entydigt för de första två stegen klaff (F1 och F2). Vid denna tidpunkt under inflygningen är det inte ovanligt att farten styrs av direktiv från flygtrafikledningen. En stark korrelation kan dock ses mellan tidpunkt för landningsklaff och utfällning av landningsställ och medvindsinflygningar. Det förändrade

operationella beteendet är dock inte så stort som piloterna själva uppgav i seminarie- respektive intervjusammanhang.

En faktor som sannolikt påverkar resultatet är piloters vilja att minimera bränsleförbrukningen. Detta görs i praktiken genom att fördröja utfällning av ökande grad av klaff och utfällning av landningsställ. Denna konfigurering av flygplanet görs så sent som möjligt med hänsyn till flygplanets aktuella totala energi och flygbolagets operationella procedurer som rör när flygplanet senast ska vara konfigurerat för landning, med rätt fart och på korrekt flygbana. Det faktum att det uppmätta operationella beteendet inte förändras så mycket som angavs kan sannolikt bero på att det finns en inbyggd marginal i 3,0° inflygningar med medvind m.h.t. möjlighet att minska flygplanets energi. På samma sätt skulle motsvarande marginal finnas vid en brantare inflygning genomförd under nollvindsförhållanden.

Det faktum att flygdata bara kommer från ett flygbolag är en svaghet i denna studie. Varje flygbolag har sina egna förutsättningar, sin egen operationella standard och kultur. I detta fall har data kunnat erhållas från ett charter-flygbolag med oftast fulla flygplan där data har extraherats vid inflygningar till ett fåtal flygplatser. Det hade varit önskvärt att använda data från fler flygbolag med mer diversifierade flygoperationer. Vad gäller den framtagna ekvivalenta nollvindsglidbanemetoden som sådan är det värt att notera, att trots att den i stort motsvarar hur ett flygplan rör sig genom luftmassan vid en inflygning med annan inflygningsvinkel i en nollvindssituation, att piloter inte vet hur den faktiska vindsituationen är förrän inflygningen genomförs. En faktiskt brantare glidbanevinkel är känd i förväg, där möjligheten att planera för eventuella operationella kompensationer (t.ex. reducerad fart) kan göras tidigare.

Flygningar måste genomföras med hög precision, t.ex. med avseende på hastighet, för att säkerställa separation mellan flygplan och möjliggöra en effektiv trafikavveckling vid en flygplats. Flygningar måste också genomföras med hög precision för att möta hållbarhetskrav med hänsyn till buller och andra utsläpp. Vissa flygplatser är striktare vad gäller uppföljning av flygoperationellt beteende hos de som trafikerar flygplatsen än andra flygplatser. En ökning med liknande uppföljning på fler flygplatser kan förväntas öka i framtiden varför metoder som kan förbättra den flygoperativa precisionen är värda att utforska vidare.

Tillgång till inspelade verkliga flygdata, utanför ett flygbolag, kan ur ett forskningsperspektiv inte tas för givet med hänsyn till integritetsfrågor i respektive flygbolag. Aggregerade flygdata används också av de flesta flygbolag för att mäta operationell effektivitet. Sådan information delas ogärna med konkurrerande bolag. Följaktligen krävs ett flygbolags, och dess pilotförenings, acceptans för att studier liknande denna ska kunna genomföras.

4 Slutsatser

Projektets slutsatser är att:

- Det går att använda vinddata från flygplan för att bestämma en ekvivalent nollvindsglidbana.
- Det finns möjlighet att approximera piloters beteende för landningsställ och landningsklaff med hjälp av den ekvivalenta nollvindsglidbanan.
- Det höjdsikt och tillhörande vindsegment som valts för studien ligger mellan det att flygplanet angör glidbanan och tidpunkt för utfällning av landningsställ.
- För den aktuella pilotgruppen och flygplanstypen kan konstateras att piloters operationella beteende förändras med avseende på när landningsstället samt landningsklaff väljs under medvindsinflygningar baserade på metodiken framtagen för ekvivalent nollvindsglidbana, men inte i den utsträckning de själva uppger i intervjuer respektive seminarium.
- Landningsställ och landningsklaff kommer att väljas på högre höjd, men även närmare landningsbanan under flygning av brantare glidbanor. Dvs.:
 - En glidbana brantare än $3,0^\circ$ innebär att utfällning av landningsställ och landningsklaff sker på högre höjd än vid en normal glidbana.
 - En glidbana brantare än $3,0^\circ$ men flackare än $3,47^\circ$ (vilket var maximala ekvivalenta nollvindsglidbana i studien) innebär att utfällning av landningsställ och landningsklaff sker närmare landningsbanan än vid en normal glidbanevinkel.
- För att förbättra piloters precision i framförandet av flygplanet, föreslås fortsatta studier av användning av flygdata i kombination med självskattning av egen prestation. Detta för att undersöka potentialen för att:
 - 1) möjliggöra ökade individuella inlärningsmöjligheter baserat på data från normala genomförda flygningar och,
 - 2) inom ett flygbolags organisation öka förståelsen för hur normala operationer genomförs, synliggöra förbättringspotential och att därmed förbättra beslutsstödet för flygbolaget.

En metodik, snarlik den genomförda studien, för att öka piloters precision och kontrollstrategi under flygning, med potentiell positiv effekt avseende t.ex. buller, är föreslagen där flygdata som skapats under en flygning kan användas efter flygning på följande sätt:

- 1) Flygbolaget frågar piloten om operationell intention i en viss tänkt flygsituation.
- 2) Flygdata extraheras relaterat till en sådan situation kopplat till aktuell individ.
- 3) Piloten ges feedback avseende eventuellt gap mellan uppgivet (önskvärt) beteende och faktiskt mätt utfall.

5 Resultatspridning

Projektets resultat har primärt delats och presenterats vid nedanstående tillfällen:

- Presentation Internoise Hong Kong augusti 2017.
- CSA workshop 2017.
- Industrikontakter, t.ex. Swedavia & LFV 2018
- Flyg- och rymdtekniska föreningen 2018.
- CSA Workshop 2018.
- Månatliga CSA-avstämningsmöten.
- Publikationer:
 1. *Pilot impact on the noise abatement effect of steeper approaches – Initial analysis of wind and flight data* (Rignér, Moberg & Ulfvengren, P. Konferensbidrag Internoise augusti 2017, Hong-Kong).
 2. *Pilot operational behavior during steep approaches – Approximation by a tailwind flight data model* (Moberg, Rignér, Ulfvengren & Näsman. Inskickad till Transportation Research – Part D, 2018).
 3. *Pilots' control strategy - Individual post flight data feedback* (Rignér, Ulfvengren, Moberg & Näsman). Inskickad till Cognition, Technology and Work, 2018).

6 Framtida forskning

Förslag på framtida forskning:

- Fortsätta att extrahera flygdata från deltagande flygbolag och korrelera data med bullermätningar på marken (CSA-projekt ULLA), samt simuleringsverktyget under utveckling (CSA-projekt SAFT).
- Genomföra faktiska brantare inflygning och analysera flygdata från dessa flygningar med avseende på piloternas operationella beteende. Därmed skulle också den i denna studie föreslagna metoden kunna valideras.
- Med användning av flygsimulatorer bedöma vad som är praktiskt genomförbart i olika operationella förhållanden.
- Baserat på erfarenheter från Brantare undersöka möjligheterna att styra bullret till önskvärda geografiska lägen med hjälp av piloters operationella beteende.
- Snarlikt upplägg som projekt Brantare men med ett större antal flighter.
- Utvidga metodiken föreslagen i Publikation nr 3 till att täcka andra faser av flygning.

Stockholm 2019-03-07

Johan Rignér (projektledare)

Natmer AB