CHALMERS

Lufttankning av civila flygplan

Undersökning av möjligheterna att implementera lufttankning på civilt flyg

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Maskinteknik

Patrik Viippola
Jakob Steinwall
Siros Jahanfar
Nebojsa Radosavljevic
Svante Håkansson

Institutionen för produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för produktutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012
Kandidatarbete/rapport nr 2012:13

Sammanfattning

Detta kandidatarbete har utförts för att utreda ifall ett införande av lufttankning för civilt bruk kan vara en möjlig lösning till flygets växande miljöpåverkan, utan att ha en märkbar negativ inverkan på flygbolagens ekonomi. Utöver dessa faktorer har projektet ämnat besvara frågeställningar kring allmänhetens acceptans, flygsäkerheten samt hur lufttankning kan påverka flygtiden. Lufttankning för civilt bruk är idag ett obeprövat koncept. Detta resulterade i en omfattande förberedande studie för att säkerställa fakta om lufttankning innan en fortsatt realistisk analys kunde göras. Den förberedande studien redogjorde ett antal problemområden, vilka konkretiserades i forskningsfrågor som avsetts besvara funderingar kring ovanstående faktorer.

Under projektets gång har ett flertal analytiska verktyg valts ut med avseende på att få ut bästa möjliga resultat. Dessa verktyg innefattar litteraturstudier, matematiska modeller och intervjuer.

Efter tillämpning av dessa metoder har en analys gett indikationer på att lufttankning kan bidra med en teoretisk bränslebesparing på upp till 19 procent hos kommersiella flygplan, och genom detta minska flygets miljöpåverkan. Initialt kommer ett införande av lufttankning medföra ekonomiska nackdelar, vilka dock tros ha liten påverkan då alla kringliggande faktorer beaktas. Studien har även indikerat att flygtiden inte kommer att öka nämnvärt utan kan istället i vissa fall leda till stora tidsbesparingar. Säkerheten kring lufttankning har inte heller bedömts vara ett hinder för fortsatt utveckling. Däremot kommer en utmaning finnas vid införandet av kommersiell lufttankning, då den aktuella allmänna acceptansen att flyga med lufttankning, kan bli ett problem.

Abstract

This thesis has been executed to investigate whether the implementation of air-to-air refueling for civilian use will be a possible solution for the aviation's increasing impact on the environment, without having a noticeable effect on the airline's expenses. In addition to these factors, the project intended to answer questions about public acceptance, flight safety and how air-to-air refueling will affect the flight time. Air-to-air refueling for civilian use is an unexplored concept. This resulted in an extensive preparatory study to ensure the circumstances about air-to-air refueling, before a further accurate analysis could be made. The preparatory study exposed a number of problem areas, which are described in the research questions, which are intended to answer questions about the previously mentioned factors.

During the project a number of analytical tools have been selected with consideration to get the best possible result. These tools include literature studies, mathematical models and interviews.

After exercising these methods, an analysis has indicated that air-to-air refueling can provide theoretical fuel savings of up to 19 percent in commercial aviation, and by this reduce the environmental impact of aviation. Initially the introduction of aerial refueling will cause some economical drawbacks, though the impact of these drawbacks will probably be small considering all the factors surrounding the fuel consumption. The study also suggested that the flight time will not increase significantly, but may instead in some cases lead to significant time savings. The security aspect of air-to-air refueling has not been considered to be an obstacle for further development. However, a challenge will be to introduce commercial air-to-air refueling, since the current general public's acceptance to fly with air-to-air refueling can be an issue.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 3

Abstract 4

1. Introduktion 7
1.1. Bakgrund 7
1.1.1. Den kommersiella flygmarknaden 7
1.2. Syfte och mål med projektet 8
1.3. Forskningsfrågor 8
1.4. Avgränsningar 9

2. Teori 10
2.1. Historia om lufttankning 10
2.2. Lufttankningsmetoder 11
2.2.1. Harpunprincipen 11
2.2.2. Probe and Drogue-principen 12
2.2.3. Flygande Bom-metoden 12
2.2.4. Jämförelse Lufttankningsmetoder 13
2.3. Tankerflygplan 14
2.4. Nutida applikationer på större flygplansmodeller 15
2.5. Helautomatiserad lufttankning 15

3. Metod 16
3.1. Beräkningsmodeller 16
3.2 Intervjumetodik 17
3.3.1 Kvantitativa och kvalitativa intervjuer 17
3.3.2. Val av strategi för större grupper 17

4. Genomförande 19
4.1. Halvkvalitativ studie på Landvetter 19
4.2. Kvalitativ studie på F7 i Såtenäs 19
4.3. Tillämpning av beräkningsmodeller 20
4.4. Säkerhet 20
4.5. Tidsåtgång 21
4.6. Allmänhetens acceptans 21

5. Resultat 22
5.1. *Hur kommer flygets kostnader och bränsleförbrukning påverkas om lufttankning införs på civilt flyg?* 22
5.1.1. London – New York 22
5.1.2. London – Singapore 23
5.1.3. London – Sydney 24
5.1.4. Slutsats 26
5.2. *Kommer säkerheten vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg?* 26
5.2.1. Olycksstatistik 26
5.2.2. Kvalitativ studie på F7 Såtenäs 26
5.2.3. Slutsats 27
5.3. *Hur påverkas flygtiden då lufttankning används på civilt flyg?* 27
5.3.1 Extra tidsåtgång vid lufttankning 27
5.3.2 Slutsats 29

5.4. *Kommer allmänhetens acceptans vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg?* **29**
5.4.1. Åldersgrupper 29
5.4.2. Enkäten 30
5.4.3. Slutsats 31

6. Diskussion av resultaten **32**
6.1. Hur påverkas flygets bränsleförbrukning om lufttankning införs på civilt flyg? **32**
6.2. Hur påverkas flygbolagens kostnader om lufttankning införs på civilt flyg? **33**
6.3. Kommer flygsäkerheten vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg? **35**
6.4. Vilken inverkan kommer lufttankning ha på tidsåtgången under flygning? **36**
6.5. Kommer allmänheten acceptera idén om att flyga med lufttankning? **37**
6.6. Studiens begränsningar **38**

7. Slutsatser **40**

8. Källförteckning **41**

Bilaga 1: Uppskattning av tankerflygplanens bränsleförbrukning **43**
KC-135R Stratotanker **43**
KC-10 Extender **43**
Resultat **43**
Referenser: **44**

Bilaga 2: Flygrutter **45**
London – New York **45**
London – Sydney och London – Singapore **46**
London – Sydney 46
London – Singapore 47
Referenser **47**

Bilaga 3: Flygplansmodeller **48**
Boeing 737-800 ..... **48**
Boeing 777-300ER **48**
Airbus A380-800 ..... **49**
Referenser **49**

Bilaga 4: Intervjumall för halvkvantitativ intervju **50**

1. Introduktion

I detta kapitel kommer ämnet lufttankning introduceras och bakgrunden till detta projekt kommer redogöras. Även syfte och mål kommer att presenteras där dessa har konkretiserats i fem forskningsfrågor. Gruppen har även klargjort vilka avgränsningar som gäller för projektet.

1.1. Bakgrund

Dagens civila flygindustri är beroende av många olika faktorer. En av de viktigaste är bränsleförbrukningen som står för en stor del av den totala kostnaden, denna är även direkt relaterad till miljöpåverkan som flygindustrin står för. För att minska bränsleförbrukningen pågår ständiga försök att optimera passagerarflygplan genom utveckling av nya motorer och användning av lättviktsmaterial (Boeing, 2012). Till detta projekt ställdes frågan om det finns någon fördel med att lufttanka civila flygplan med avsikt att sänka bränsleförbrukningen och på så sätt sänka flygbolagens miljöpåverkan och kostnader.

1.1.1. Den kommersiella flygmarknaden

Uttrycket ”världen krymper” finns till en stor del på grund utav den ständigt ökande flygtrafiken. Antalet internationella flyg ökar stadigt för varje år och det finns inga tendenser på att dessa kommer bli färre. Enligt Transportstyrelsens statistik på Arlanda flygplats kan man se att från år 1980 till 2007 har antalet utrikes passagerare per år ökat från drygt tre miljoner till nästan 13 miljoner, vilket är en ökning med 400 procent på 27 år. Man kan även läsa i R.K. Nangias publikation i *The Aeronautical Journal* att den framtida flygplansflottan i världen troligtvis kommer att ha ökat till det dubbla från år 2004 till 2024.

Flygindustrin står i dagsläget för cirka 3,5 procent av världens totala utsläpp av växthusgaser. Detta kan anses vara lågt men är ändå en betydande del av utsläppen, och eftersom flygtrafiken förväntas öka till det dubbla de närmaste 20 åren kommer flygindustrin stå för en stor del av koldioxidutsläppen även i framtiden. Flygtrafikens miljöpåverkan har ett direkt samband med flygmotorernas utsläpp av främst koldioxid, men även andra växthusgaser och partiklar, samt oljud. Vattenånga och andra mindre betydande växthusgaser kommer dock inte vara i fokus för satsningen på ett miljövänligare flyg, utan det är utsläppen av koldioxid man i första hand försöker minimera (Transportstyrelsen, 2012).

En redan vedertagen åtgärd för att minska flygets koldioxidutsläpp är statliga miljöskatter. Miljöskatter är skatter som justerar negativa externaliteter hos en marknadsaktivitet vilket i detta fall är koldioxidutsläpp från flygresor. Dessa skatter har införts i syfte att skapa ett incitament för konsumenten att tänka efter och söka andra alternativ än flyg, då kostnaden för flygbiljetten ökar och dessa skatter troligtvis kommer att öka även i framtiden. Detta för att bromsa dagens höga bränslekonsumtion (Transportstyrelsen, 2010).

1.1.2. Lufttankning

R.K. Nangias rapport om civil lufttankning, som för kandidatgruppen är den enda kända rapport på ämnet lufttankning, visar att tekniken har stor potential att minska flygbranschens bränsleförbrukning, och därigenom minska miljöpåverkan och kostnaderna. Han redogör i en omfattande undersökning om hur den militära tillämpningen av lufttankning är fullt användbar men även fördelaktig för den civila flygindustrin. Nangia har i denna rapport diskuterat hypotetiska passagerarflygplan och

tankerplan som är optimerade för lufttankning, något som får anses ta lång tid innan det är redo för kommersiellt bruk. Detta på grund av att det i flygindustrin vanligtvis tar mellan 20-30 år att införa stora förändringar (Transportstyrelsen, 2012).

Till Nangias rapport har den militära tillämpningen legat som grund där dess största fördelar är ökad räckvidd och möjligheten att starta med tyngre last. Dessa fördelar skulle kunna gynna även det civila flyget då bränsleineffektiva mellanlandningar på längre sträckor exempelvis London – Sydney skulle kunna undvikas. Den största bränslebesparingen görs dock då lufttankning gör det möjligt att starta och flyga med mindre bränsle ombord då flygplanet kan tankas en eller flera gånger under flygningen. Ett exempel på hur mycket ett flygplan förbrukar under starten på ett sextimmarsflyg är en Boeing 747-300 där bränsleförbrukningen under starten utgör cirka 18 procent av den totala resans bränsleförbrukning (Ehow, 2012).

1.2. Syfte och mål med projektet

Syftet med denna studie är att undersöka möjligheterna att använda lufttankning på civilt flyg för att lösa de problem som beskrivits i bakgrunden. Till skillnad från den tidigare studien som gjorts på området kommer detta projekt endast att behandla teknik och flygplan som existerar i dagsläget. Detta görs för att avgöra om en implementering av lufttankning är möjlig inom en relativt snar framtid. Målet med projektet är att undersöka följande områden:

- Undersöka möjligheterna att med hjälp av lufttankning att minska flygets bränsleförbrukning och därigenom dess miljöpåverkan och kostnader.
- Undersöka om säkerheten kan vara ett hinder vid en tillämpning av lufttankning på civilt flyg.
- Kartlägga hur dagens flygresenärer ställer sig till lufttankning av civilt flyg och hur en implementation skulle påverka resenärernas inställning till att flyga.

1.3. Forskningsfrågor

För att förtydliga målen med projektet har dessa konkretiserats i fem forskningsfrågor.

1. Hur påverkas flygets bränsleförbrukning om lufttankning införs på civilt flyg?

Denna fråga syftar till att undersöka möjligheterna att göra en bränslebesparing vid användande av lufttankning på civilt flyg. Den skall undersöka hur stora eventuella besparingar kan bli och hur dessa påverkas med avseende på hur ofta man tankar, vart man tankar och längden på flygrutten.

2. *Hur påverkas flygbolagens kostnader om lufttankning införs på civilt flyg?*

Frågan syftar till att undersöka hur flygbolagens kostnader påverkas vid användning av lufttankning på civilt flyg. Precis som för föregående fråga skall den undersöka hur kostnaderna påverkas med avseende på hur ofta man tankar, vart man tankar och längden på flygrutten.

3. *Kommer flygsäkerheten vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg?*

Frågan skall undersöka hur flygsäkerheten påverkas om lufttankning införs på civilt flyg. Den skall kartlägga olyckor som involverat lufttankning inom den militära sektorn samt undersöka vad militären anser om säkerheten gällande lufttankning.
4*. Hur påverkas flygtiden då lufttankning används på civilt flyg?*

Syftet med denna fråga är att utreda om flygtiden påverkas då ett flygplan lufttankas. Den skall undersöka vilken påverkan antalet lufttankningar har på flygtiden och hur flygtiden påverkas då en mellanlandning ersätts med en lufttankning.

5. *Kommer allmänhetens acceptans vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg?*

Frågan skall undersöka vad allmänheten anser om att flyga med flygplan som lufttankas och ifall detta skulle öka deras rädsla för att flyga. Ifall bränsleförbrukningen minskar då lufttankning används på civilt flyg skulle detta kunna medföra reducerad miljöpåverkan och sänkta kostnader. Frågan skall även utreda vilken av dessa två möjliga fördelar som är viktigast för resenärerna.

1.4. Avgränsningar

- Projektet kommer inte utveckla någon ny metod för lufttankning, utan kommer behandla ämnet med befintlig teknik.
- Projektet kommer endast behandla lufttankning av passagerarflygplan och inte transportflygplan.
- Beräkningar kommer endast göras på tre olika rutter med olika längd.
- Vid beräkningar kommer enbart tre olika flygplan att undersökas.

2. Teori

Detta avsnitt innehåller en grundlig genomgång om historian kring lufttankning och de olika tekniker som används vid lufttankning, från början till idag. Avsnittet går igenom de olika tankerplan som finns och används idag, samt allmän fakta om de olika lufttankningsmetoderna. Dessa fakta används sedan för att jämföra de olika metoderna med varandra och går igenom vilken metod som lämpar sig bäst vid olika tankningsscenarion.

2.1. Historia om lufttankning

De första experimenten med lufttankning gjordes i början av 1920-talet. Tekniken som användes då var mycket enkel. Två flygplan flög nära varandra, det ena strax ovanför det andra varefter en slang hissades ner från det övre flygplanet och en operatör hällde bensin ur en dunk ner i det mottagande flygplanets bränsletank. Till en början användes tekniken endast till att sätta en mängd rekord i längsta flygsträcka och längsta flygtid, men då tekniken vidareutvecklats under 1930-talet kom den även att användas i liten utsträckning vid civila atlantflygningar (Smith R K, 1998).

Det var även under 1930-talet som den militära flygindustrin fick upp ögonen för lufttankning och både det amerikanska och brittiska flygvapnen började studera tekniken. Man såg potentiella fördelar med lufttankning i att bombplan skulle kunna bära fler bomber då de inte behövde ha lika mycket bränsle vid start samt att planen skulle få längre räckvidd. I och med andra världskrigets utbrott avstannade utvecklingen och tog fart igen först efter krigsslutet. I och med det kalla krigets utbrott blev det då nödvändigt för amerikanska bombplan att kunna nå Moskva från baser i Västeuropa, något som vid tidpunkten inte var möjligt utan lufttankning. Utvecklingen gick framåt och i slutet av 1954 hade det amerikanska flygvapnet 683 tankerplan varav de flesta var av typen Boeing KC- 97, ett flygplan konstruerat speciellt för lufttankning. Man hade även ett antal gamla bombplan som modifierats till tankplan(Smith R K, 1998).

Första gången lufttankning användes i en väpnad konflikt var 1951 under Koreakriget då amerikanska flygplan stationerade i Japan lufttankades under uppdrag över den koreanska halvön. Vidare under Koreakriget användes lufttankning men det var under Vietnamkriget på 1960-talet som tekniken fick sitt stora genombrott. Under uppdrag över Nordvietnam var amerikanska attackplan tvungna att ligga väldigt nära sin maximala hastighet för att undvika nordvietnamesiskt luftvärn vilket medförde en mycket hög bränsleförbrukning. Det var därför inte ovanligt att det krävdes två eller fler lufttankningar per uppdrag. Efter Vietnamkriget har lufttankning förekommit i nästan alla stora väpnade konflikter (Smith R K, 1998).

Idag används lufttankning av en mängd länder i varierande omfattning och det är fortfarande ökat räckvidd och möjligheten att starta med större vapenlast som ses som de främsta fördelarna med lufttankning. Detta gör att lufttankning ofta benämns som en *force multiplier* då användande av det höjer den existerande flygflottans kapacitet (JAPCC, 2012).

Att operera tankerplan är mycket kostsamt vilket på senare år har lett till åtgärder för att minska kostnaden för att operera tankerplan. Flera europeiska Nato-länder som har lufttankningskapacitet har ett nära samarbete gällande lufttankning där man delar på sin gemensamma tankkapacitet. Samarbetet sköts via en sambandscentral i Eindhoven som koordinerar och optimerar användandet av de deltagande ländernas lufttankningskapacitet och på så sätt gör att de kan utnyttjas på ett effektivare sätt

(JAPCC, 2012). Ett annat sätt att minska kostnaderna för lufttankning, som börjat praktiseras under 2000-talet, är att outsourca tankningen till privata företag som börjat tillhandahålla lufttankning för militära ändamål. Exempelvis anlitar den amerikanska marinen kommersiella företag som tillhandahåller lufttankning för att tillgodose delar av sitt lufttankningsbehov (DSBTF, 2004).

Det svensktillverkade flygplanet JAS 39 Gripen har nyligen anpassats för lufttankning. År 2010 fick även det svenska flygvapnet kapacitet att lufttanka dessa plan då det första av tre C130 Hercules modifierats för lufttankning. Detta utnyttjades bland annat under den Natoledda insatsen i Libyen år 2011 då svenska JAS 39 Gripen lufttankades under operationer över Libyen (F7, Såtenäs, 2012).

2.2. Lufttankningsmetoder

Metoden att överföra bränsle från en flygfarkost till en annan har varierat under årens lopp men sedan 50-talet har utvecklingen i princip stått still (Bolkom C 2006, s.5-6). De första metoderna var enkla och tog främst hjälp av gravitationen för att överföra bränslet. I takt med att efterfrågan växte ökade också specialiseringsgraden av tankningssystemen, idag sköter högeffektiva elektriska pumpar tankningen via flödesoptimerade slangar och rör.

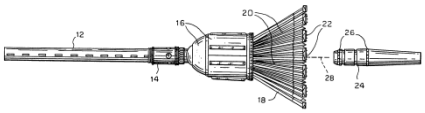
Alla tekniker har samma grundliga beståndsdelar vilket kan ses som en hona-hane konfiguration där den ena farkosten är hona, och den andra hanen. Hanen är den som kontrollerar kontakten mellan de två flygplanen till störst del och därför har den mer omfattande arbetsbelastningen. Storleken på planen kan variera, dock måste viss hänsyn tas till de aerodynamiska effekter som uppstår då två flygplan flyger tätt framför/bakom varandra (Nangia R 2006). Ett krav är att farkosterna måste kunna hålla samma konstanta hastighet på samma höjd över havet. Ett annat krav är att piloterna måste kunna kommunicera med varandra för att ge instruktioner och fatta snabba beslut vid nödsituationer. Flödeshastigheten på bränsleöverföringen varierar mellan de olika metoderna, vilket får en stor betydelse då högre flödeshastighet medför kortare tankningstider. Kortare tankningstider innebär mindre bränsleförbrukning av tankerplanet under ett tankeruppdrag (Bolkom C 2006, s.10). Eventuella risker minskar också med tankningsprocedurens varaktighet. Dock måste mottagarens kapacitet att ta emot bränsle matcha tankerplanets flödeshastighet för att denna ska kunna utnyttjas till fullo, detta beror främst på flygplanstyp och storlek (Bolkom C 2006, s.7).

2.2.1. Harpunprincipen

Den första tekniken, vilken togs fram av ett engelskbaserat företag, Flight Refueling Limited, var en omständig och arbetskrävande procedur där tankerplanet var ansvarig för kontakten med mottagarplanet. Kontakt mellan de två planen etablerades genom att mottagarplanet virade ut en lång stållina med krokar ur akterpartiet och när de två planen låg sida vid sida sköt tankerplanet ut en lina som fastnade i krokarna. Efter kontakt etablerats virades själva tankslangen ut från tankplanet längs de sammansatta linorna varefter tankerplanet steg och lade sig ovanför mottagaren så att gravitationen kunde sköta själva överföringen av bränsle (Gas station in the sky 1947, S.82). Denna metod användes bland annat för att utöka räckvidden på de sjöflygplan, även så kallade Trans-atlantic boats, som flög från London till new york på 40-talet (Smith R K 1998, s.16-17). Under efterkrigstiden växte militärens intresse för lufttankning och Flight Refueling Limited började vidareutveckla sitt system.

2.2.2. Probe and Drogue-principen

Denna teknik är resultatet av vidareutvecklingen av harpunprincipen och användes för första gången den 7 augusti 1949 (Smith R K 1998, s.32). Rollen som hane hade nu skiftat från tankerplanet till mottagaren vilken är utrustad med en ”Probe” (en arm kopplad till bränsletankarna) som skall styras in i en korg i änden på tankerplanets slang. Efter kontakt etablerats är mottagaren ansvarig för att upprätthålla kontakten med korgen under tiden bränsle pumpas genom slangen från tankern. Detta sätter relativt hårda krav på mottagarplanets pilot, vilka växer med storleken på flygplanet och dess svårigheter att göra snabba manövrar (Smith R K 1998, s.41). Korgen är dessutom känslig för sidvind och aerodynamiska effekter som orsakas av tankerplanet. Trots dessa utmaningar var denna teknik en stor förbättring av harpunprincipen och används än idag utan några signifikanta ändringar på dess utförande (Bolkom C 2006, s.4). Varken korgen eller slangen medför några större ökningar i luftmotstånd för tankerplanet. Dessutom kan slangar enkelt monteras på vingarna med hjälp av externa kapslar vilket möjliggör tankning utav flera plan samtidigt. På grund av fysiska begränsningar på slangen finns en begränsning på maximal flödeshastighet man kan uppnå med denna metod, cirka 950 liter/minut (Bolkom C 2006, s.5). För att sätta detta i ett sammanhang kan nämnas att USA:s största bombplan Boeing B-52, vilket togs i bruk i början av 1950-talet. Detta flygplan har en tankvolym på 40 000 liter, vilket alltså skulle resultera i en tankningstid på 40 minuter (Smith R K 1998, S.43-44). Denna begränsade prestanda samt den extra press som sattes på piloter av större flyg, som bombplan, ledde till utvecklandet av ännu en tankningsmetod.



Figur 1: Probe and Drogue

2.2.3. Flygande Bom-metoden

Denna metod går ut på att tankerplanet fäller ut en kraftig bom, vilken är fritt rörlig i x, y och z-led, samt utrustad med vingar så att den går att manövrera i luften. Bommen manövreras av en operatör i tankerplanets akter och det enda mottagarplanet behöver göra är att följa operatörens instruktioner, vilka är avsedda att få mottagaren att ligga stilla i förhållande till bommen (JAPCC 2011, s.55-56). Här har operatören det större ansvaret. Detta utökade ansvar var en nödvändig utveckling då den militära fokuseringen i början av 1950-talet låg på långräckviddsbombplan vilka var stora och därmed krångliga att manövrera i ett trångt lufttankningsutrymme. Då ett teoretiskt uppdrag kunde sträcka sig ända från Amerikas östkust till Moskva. Detta resulterade i många flygtimmar i sträck varför man ville avlasta de trötta piloterna så mycket som möjligt (Smith K 1998, S.41). Tack vare bommens mekaniska utförande har den bättre prestanda än tidigare behandlade Probe and Drogue-teknik, flödeshastigheter på uppemot 2500 liter/minut är standard för denna metod vilket resulterar i att tankningsprocedurer tar ungefär en tredjedel så lång tid med denna metod jämfört med ifall man skulle använt sig av Probe and Drogue-tekniken (Bolkom C 2006, s.5). En kort beräkning baserat på befintliga överföringshastigheter resulterar i att en Boeing 737, världens just nu vanligaste kommersiella flygplanstyp, skulle kunna tankas full på cirka åtta minuter med Flygande bom-metoden. Den största nackdelen med denna teknik är att bommen är bemannad, vilket innebär extra kostnader i form av löner och utbildningar. Dessutom finns en tidsgräns för hur länge denne operatör kan arbeta i

Figur 2: Tankning med flygande bom

sträck vilket medför en begränsning för hur många plan som kan tankas utav ett tankerplan. Slutligen kan endast ett plan tankas åt gången med denna metod, då det ännu inte finns något tankerplan som är utrustat med mer än en bom (JAPCC 2011, s.16; Bolkom C 2006, s.4-5).

2.2.4. Jämförelse Lufttankningsmetoder

De två tekniker som används i dagsläget är Probe and Drogue-tekniken och flygande bom-principen. Flygande bom-principen är den primära lufttankningsmetoden för USA:s flygvapen, vilket är den enskilt största användaren av lufttankning generellt (Bolkom C 2006, s.5-6; *Lufttankningens historia*). Detta beror i största del på, som tidigare nämnts, att USA:s strategi på 1950- och 1960-talet gick ut på att använda sig av strategiska bombplan för att försvara sig mot Sovjet, för dessa större plan lämpade sig bom-principen bäst vilket resulterade i att 90 procent av alla tankningsplan byggdes med detta i åtanke. Många av dessa plan lever kvar än idag som tankerplan vilket är anledningen till att tekniken hängt kvar. Större delen av Amerikas nutida luftförsvar består dock utav mindre jakt- och attackplan vilka inte kan utnyttja den större kapacitet bom-principen erbjuder, istället ses möjligheten att endast kunna tanka ett plan åt gången som en begränsning varför man på senare år fått påtryckningar från divisioner med jakt- och attackplan att byta till tankerplan med Probe and Drogue (Bolkom C 2006, s.6-7). Om ett flygplan är utrustat med mottagarutrustning för en av teknikerna innebär detta att den är inkompatibel med den andra tekniken, vilket vållat stora internationella problem mellan NATO-länderna då i princip alla medlemmar förutom USA valt att till större delen satsa på Probe and Drogue (JAPCC 2011, s.13-15). I en utvärdering som nyligen gjordes för den Amerikanska kongressens tjänst ansågs det dock att tankerflygplan utrustade med flygande bom-principen är mer mångsidiga då bommen kan modifieras med en slang medan flygplan enbart utrustade med ”probe and drogue” ej kan modifieras med en bom. Man valde därför att fortsätta satsa på tankerplan utrustade med bom men som kan modifieras med slangkit och kapslar vilket möjliggör tankning med båda teknikerna (Bolkom C 2006, s.11).

2.2.4.1. Faktajämförelse av lufttankningsmetoder

Här nedan jämförs fakta för de två vanligaste lufttankningsmetoderna, vilka är flygande bom och Probe-and-Drouge.

2.2.4.1.1. Flygande Bom

- Hög kapacitet cirka 2500 liter/minut
- Avlastar mottagarpilotens arbetsuppgifter
- Möjlighet att anpassa flödeshastighet efter mottagarens kapacitet
- Kan avlasta stora mängder bränsle tack vare den höga kapaciteten
- Mottagarutrustning kan placeras utom synhåll för piloten, vilket underlättar manövrering
- Mottagarutrustning kan monteras högt upp, långt bak på mottagarplanet vilket minimerar risken att något skulle åka in i motorerna vid olycka
- Möjlig att modifiera med Probe and Drogue-principen för att även kunna tanka mottagarplan utrustade med denna teknik.
- Medför en ökning av luftmotståndet på tankerplanet
- Medför kostnader i form av löner, och utbildningar för bomoperatören
- Begränsad tid i luften på grund av bomoperatörens arbetsförhållanden
- Mindre flygplan kan inte utnyttja den högre kapaciteten hos bommen
- Kan i dagsläget endast tanka ett flygplan åt gången

2.2.4.1.2. Probe and Drogue

- Låg kapacitet cirka 950 liter/minut
- Lägger största delen av ansvaret för kontakt under tankning på mottagarpiloten
- Går ej att öka flödeskapaciteten för att effektivt tanka större flygplan
- Längre tankningsprocedurer innebär att mindre bränsle kan avlastas, då mer bränsle förbrukas av tankerplanet
- Mottagarutrustning måste placeras långt fram på planet vilket medför större risk för att kritisk utrustning såsom radar skadas vid kollision
- Placeringen långt fram på planet ökar risken för att delar hamnar i motorerna vid olycka
- Går ej att modifiera för att möjliggöra tankning av flygplan utrustade med bom-teknik
- Enkel att anpassa så att alla typer av flygplan kan användas som tankerplan
- Möjlighet att tanka flera plan samtidigt, om dessa är av mindre storlek
- Ingen operatörskostnad
- Obefintligt extra luftmotstånd för tankerplanet
- Möjliggör tankning av alla farkoster, till exempel helikoptrar

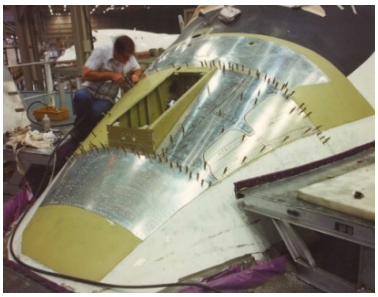
2.3. Tankerflygplan

Alla dedikerade tankerflygplan som är i tjänst idag härstammar ursprungligen från en civil flygplanstyp. Detta beror dels på att det är billigare för en flygplanskonstruktör att ta ett redan färdigutvecklat projekt och göra modifieringar på detta än att utveckla ett helt nytt koncept vilket skulle kräva resurser som militären inte erbjuder i dagsläget (Nangia R K, 2006). Ett tankerflygplan i militär tjänst har flera syften. Förutom att tanka andra flygplan skall det ha möjlighet att transportera reservdelar, utrustning och personal från en flygbas till en annan vilket gör det mångsidigt och underlättar strategiska planeringar. Kommersiella flygplan har från början utvecklats i syfte att transportera passagerare och last så modifikationerna på dessa blir inte omfattande (Kopp C, 2005). Tankerflygplan varierar i storlek men den minsta modellen som har kapacitet att tanka större flygplansmodeller är Boeings KC-135 vilken härstammar från samma grundkoncept som det civila planet Boeing 707. Den största modellen i dagsläget är tankermodifierade Boeing 747 (Kopp C 2005, s.20). Nya tankerplan produceras i dagsläget där det senaste tillskottet är Boeings KC-767 som vann den amerikanska konstruktörstävlingen KC-X. Denna tävling gick ut på att ta fram en ersättare för den nu föråldrade KC-135 (Gertler J, 2007). Kraven på tankerplanen har inte förändrats nämnvärt sedan KC-135 utvecklades, förutom att de numera ska kunna bära mera last och passagerare utöver bränsle. Således finns i dagsläget inget tankerflygplan som är framtaget som ett koncept med fokus enbart på lufttankning (Nangia R K, 2006).

Att använda sig utav lufttankning är i dagsläget relativt dyrt. En uppskattning av kostnaden att lufttanka gjort av det amerikanska försvarsdepartementet visar att genomsnittskostnaden för lufttankning i det amerikanska flygvapnet är 17,5 USD/gallon (The department of defense, 2007). Detta kan ställas i relation till priset på jetbränsle som år 2012 är ungefär 3,2 USD/gallon (Indexmundi, 2012).

2.4. Nutida applikationer på större flygplansmodeller

Lufttankning innebär i dagsläget en förlängning av ett flygplans räckvidd vilket begränsas enbart av mänskliga och mekaniska faktorer, främst besättningens uthållighet och motorernas hållbarhet. Flertalet stora flygplanskonstruktioner är idag anpassade för lufttankning, främst olika typer av bombplan som till exempel det amerikanska B-52 Stratofortress men även stora fraktflygplan som



Figur 3: Nosparti av flygplan anpassat för lufttankning med flygande bom

Lockheed C5 och C-17 Globemaster ända upp till det tankerplansmodifierade Boeing 747. Lufttankningar utav dessa stora flygplan genomförs på daglig basis utan komplikationer, gemensamt för alla är att de använder sig av flygande bom-tekniken (Kopp C 2005, s.16-17). Flertalet av tankerplanen har idag möjlighet att ta emot bränsle genom lufttankning för att förlänga dess räckvidd ytterligare, bland andra: KC-10, KC-767, KC33A. Modifikationerna för att möjliggöra denna lufttankning är implementation av en mottagarkontakt för flygande bom-tankning, oftast placerad strax bakom cockpit eller i planets nos. Mottagarkontaktens uppgift är att hålla fast bommens bränslemunstycke under tankningen och leda flygbränsle ner i planets tankar. Då i princip alla dagens tankerplan är modifierade civila flygplanskonstruktioner, vilket diskuterats tidigare, existerar redan metoder för att bygga om dessa för att möjliggöra lufttankning. Ett exempel är de av Boeing modifierade 747:or som konkurrerade med MD KC-10 i amerikanska försvarets ACTA-program. Förutom att vara utrustade med en tankbom i aktern och extra bränsletankar var dessa även utrustade med en mottagarkontakt för lufttankning i nosen (Kopp C 2005, s.15).

2.5. Helautomatiserad lufttankning

Efter implementationen av obemannade flygfarkoster, så kallade UAV:s (Unmanned aerial vehicle), i USA:s försvar började man arbeta fram ett sätt att utöka deras räckvidd genom lufttankning. Då det inte finns någon pilot fysiskt närvarande under själva lufttankningen började bl.a. Boeing och NASA forska i ämnet. Efter att man lyckats ta fram en navigationsalgoritm utfördes flera försök med datorkontrollerade lufttankningsprocedurer på Dryden Test Research Center i Kalifornien (Hansen J, Murray J, Campos N, 2005). I augusti 2006 lyckades man genomföra simulerade tankningsförfaranden både med flygande bom-tekniken, och Probe and Drogue-metoden. Flygplanen som användes i försöken var ett modifierat F/A 18 jaktplan samt en modifierad Learjet. Dessa fick utföra tankningar från ett minimalt modifierat KC-135R och ett modernare KC-767 tankerplan. Med dessa lyckade resultat har man beslutat att fortsätta utvecklingen av helautomatiserad lufttankning, i huvudsak för att förlänga räckvidden på den växande flottan av UAV:s men även för att underlätta besättningens uppgifter vid lufttankning av bemannade flygplan (Hanlon M, 2006).

3. Metod

Detta kapitel beskriver metoderna som valts att användas för att besvara forskningsfrågorna på ett realistiskt sätt. Första delen i detta avsnitt kommer att beskriva metoden som valts för att utföra beräkningar, samt hur denna skall användas för att räkna fram flygets bränsleförbrukning. Därefter kommer metoderna som använts för att utreda marknaden för dagens flygresenärer, säkerheten kring lufttankning samt tidsåtgången. Dessa metoder kommer att bestå av kvalitativa och kvantitativa intervjuer.

3.1. Beräkningsmodeller

Metoden som skall användas vid beräkningarna på bränsleförbrukningen bygger på *Brequets range equation*. Denna ekvation är vanligt förekommande vid likande beräkningar och relaterar flygplanets hastighet, aerodynamik (lift-to-drag ratio) och dess motorers effektivitet (specifik bränsleförbrukning):

$$R = \frac{V \cdot L}{c \cdot D} \int_{W_i}^{W_f} \frac{dW}{W}$$

$R = flygsträcka$
$V = marschhastighet$
$\frac{L}{D} = lift\ to\ drag\ ratio$
$c = specifik\ bränsleförbrukning$
$W_i = Flygplanets\ initiala\ vikt$
$W_s = Flygplanets\ slutgiltiga\ vikt$

Då skillnaden mellan W_i och W_s är vikten på bränslet som förbrukats under den flugna sträckan kan man genom att anta längden på sträckan som flygs beräkna bränsleåtgången (Ilan Kroo, 2006).

Brequets range equation tar inte hänsyn till den extra bränsleförbrukningen under start och landning utan approximerar endast bränsleåtgången mellan två punkter i luften. Det krävs därför ytterligare antaganden om bränsleförbrukning under stigningen samt under manövrering vid start och landning. Den extra bränsleförbrukningen approximeras till 1,6 procent av flygplanets totala vikt vid start (W_{TOW}) under stigningen och till 0,7 procent av W_{TOW} under manövrering vid start och landning. Denna extra bränsleförbrukning adderas sedan till bränsleförbrukningen som beräknats med *Brequets range equation* vilket ger flygplanets totala bränsleförbrukning. (Ilan Kroo, 2006).

För att kunna jämföra bränsleförbrukningen vid lufttankning med att flyga rutten direkt, måste tankerplanens bränsleförbrukning adderas till det tankade flygplanets bränsleförbrukning. För att underlätta arbetet med beräknandet av denna skall en approximativ beräkning baserad på data över tankerplanens bränsleförbrukning per flygtimme (FAS 1997, table 9) och en uppskattning av flygtiden per tankeruppdrag (Nangia 2006, p. 716) göras.

Vid beräkning av kostnaden att flyga en sträcka med lufttankning skall det förbrukade bränslet delas upp i det som tankats på marken och det som tankats i luften. För bränslet som tankats på marken används den normala kostnaden för jetbränsle(Indexmundi, 2012) och för bränslet som tankats i luften används en

uppskattning av kostnaden för lufttankning i det amerikanska flygvapnet (The department of defense, 2007).

3.2 Intervjumetodik

Vid utveckling av ett nytt koncept behövs en tydlig analys av kundens önskemål, vilket görs med någon form av intervjustudie. En intervjustudie är ett av de vanligaste och mest ekonomiska tillvägagångssätten för att uträtta en direkt koppling till kunden. För att få fram kundens talan måste rätt frågor ställas. Denna fås fram genom att ha en tydlig frågeställning för projektet. Enligt Eva-Lotta Salnäs (Ph.d) ska intervjun ha en frågeställning som angreppspunkt och det är viktigt att man ställer frågor som har en direkt förbindelse till denna. Vid sammanställning av en intervju ligger problematiken att ställa frågor som hjälper en att precisera och konkretisera information som är relevant till projektet. Det gäller också att matcha rätt typ av intervju till rätt publik.

Frågor som borde ställas är:

- Vem är det man intervjuar?
- Hur många är dem?
- Expertis inom det berörda området?

När detta är bestämt är det läge för att bestämma typ av intervju. Man brukar dela inte intervjuer i två kategorier, kvantitativa och kvalitativa. (Ljungar, E 2008).

3.3.1 Kvantitativa och kvalitativa intervjuer

Kvantitativa intervjuer faller in på beskrivningen som den standardiserade och formella typen. Den väsentliga skillnaden mellan dessa är att kvantitativa intervjuer utgår från ett synsätt där man har på förhand definierat hypoteser. Man kan kanske säga att kvantitativa intervjuer är ett verktyg för att undersöka eller bestämma omfattningen av dessa hypoteser. En vanlig metod är att man formulerar dessa antaganden som frågor med färdiga svarsalternativ, där man sedan presenterar dessa frågor för dem man vill intervjua i form av enkäter. Detta brukar kallas för ett standardiserat intervjuförfarande. Enkäter brukar ofta innehålla frågor i en given ordning med svarsalternativ, där man ofta kan rangordna dessa utifrån någon from av skala. Eva-Lotta Salnäs skriver att en kvantitativ intervju utförs lika över alla respondenter, det vill säga standardiserad. Det är intervjuarens uppgift att fylla in enkäten.

Kvalitativa intervjuer utgår med syftet med att identifiera okända företeelser och egenskaper. Till skillnad från kvantitativa är kvalitativa intervjuer av definition inte standardiserade. Det går inte att prioritera vilka frågor som väger tyngst hos respondenterna. Personen som sammanställer intervjun måste lista ut frågeställningar som anses vara av betydelse för den pågående studien. Graden av standardisering beror fullständigt på upplägget av intervjun. Ju mer specifika frågor som ställs desto högre struktur har studien. Enkäten som beskrevs tidigare i texten ett klart exempel på en kvantitativ intervju av högre struktur, då man väljer att ha fasta svarsalternativ. I kvalitativa intervjuer är enkäter också en vanlig företeelse, men då använder man sig mer av öppna frågor med syfte att inte få respondenten känna sig begränsad i sitt svar (Ljungar, E 2008).

3.3.2. Val av strategi för större grupper

Kvalitativa intervjuundersökningar är ofta mycket tidskrävande om de skall göras på rätt sätt, då man måste vara extra noga med att förbereda frågorna. En rekommendation för studier som berör större grupper är att ha färdigställt en relativt ostrukturerad enkät med så kallade öppna frågor. Men gör att frågorna ställs av personen som intervjuar och har som uppgift att fylla in enkäten. Erik Ljungar kallar denna typ av

intervjuform för en halvkvalitativ undersökning, då man utför en kombination av de tidigare nämnda intervjuformerna. Denna intervjuhybrid utförs oftast på större fokusgrupper där man har liten kännedom inom området som ska studeras. Detta för att undersöka möjligt intresse och få ut ny kunskap. Om intervjun däremot skall utföras på ett välbekant ämne med folk av högre sakkunnighet är en traditionell kvalitativ intervju av det traditionella snittet att föredra.

4. Genomförande

I detta kapitel beskrivs hur metoderna i tidigare kapitel använts för att besvara forskningsfrågorna. I de två första delarna av kapitlet beskrivs en halvkvalitativ studie på Landvetter flygplats samt en kvalitativ studie på F7 i Såtenäs som båda utförts för att besvara delar av flera olika forskningsfrågor. Sedan redovisas tillämpningen av beräkningsmodellen igenom. Därefter beskrivs arbetet med att besvara de enskilda forskningsfrågorna separat.

4.1. Halvkvalitativ studie på Landvetter

För att få en uppfattning av allmänhetens åsikter kring lufttankning av civila flygplan gjordes en halvkvalitativ studie. Det bestämdes att fältstudien skulle genomföras på en flygplats för att undersöka rätt målgrupp. I detta stycke förklaras hur denna studie var utformad och hur utförandet av den gick till.

Genomförandet av studien bestod av följande steg:

- Planering av intervjumall
- Val av fokusgrupp
- Datainsamling
- Analys av data.

Vid planering av intervjumallen togs beslutet att studien ska bestå av en halvkvalitativ enkät (se *Metod* avsnitt 3.3.2). Detta beslut togs efter en session brainstorming och en överenskommelse gjordes om att detta var det bästa valet av verktyg för studien ifråga. Enkäten täckte de viktigaste frågeställningar som framfördes i början på projektet (se bilaga 4). Utformningen av enkäten var ett få tal frågor av både standardiserade och öppna frågor. Valet fokusgruppen baserades på de frågeställningar som hade fastställts tidigare av projektgruppen för en typisk passagerarbesättning.

Intervjun genomfördes tidigt på dagen och där hela gruppen färdades via bil till Landvetter flygplats. Enkäterna skrevs ut i pappersformat för att underlätta insamlingen av data. Väl på plats delade gruppen upp sig för att kunna behandla så många passagerare som möjligt. Detta gjordes för att täcka upp alla möjliga ålderssegment och andra kombinationer av bakgrundshistorik. Varje deltagare gick fram till en resenär och frågade ifall dem var tillgängliga för en kort intervju. Frågorna ställdes i den förbestämda turordning som tidigare hade framställts i enkäten, där respondenternas svar antecknades under intervjun. För att säkerställa ett godtagbart resultat behövdes ett högt deltagande vid studien.

När fältstudien var färdig samlades alla enkäter in för bearbetning och analysering. I analysen adderades enkäterna för att undersöka ifall antalet kunde ge ett rimligt resultat. All data utreddes grundlig och dokumenterades. Microsoft Excel användes som program för analysen, där resultatet redovisades i lämpliga diagram.

4.2. Kvalitativ studie på F7 i Såtenäs

För att undersöka frågor kring säkerheten, tidsåtgången samt andra frågor kring den militära tillämpningen av lufttankning kontaktades Flygvapenbasen F7 i Såtenäs, där Sveriges enda tankerflygplan för lufttankning finns. Ett e-brev skickades med en förfrågan att besöka anläggningen samt intervjua de ansvariga för lufttankning i Sverige. I ett svar ombads gruppen att skicka ett antal frågor så att de ansvariga inom området skulle kunna förbereda sig på bästa sätt. Dessa frågor utformades i gruppen genom

brainstorming och skickades sedan in till F7 Såtenäs, vilket ledde till att ett datum kunde bestämmas för ett studiebesök.

Under besöket träffade gruppen en flygkapten i Sveriges första lufttankningsbesättning. Där fick gruppen ställa sina frågor och även gå på en rundtur i anläggningen. Flygkaptenen berättade bland annat om deras operationer under oroligheterna i Libyen år 2011. Trots att det svenska flygvapnet bara använder sig av lufttankning mellan flygplanen C-130 Hercules och JAS 39 Gripen med hjälp av en så kallad Probe and Drogue-princip, så kunde flygkaptenen även svara på frågor kring den relevanta lufttankningstekniken för projektet, nämligen den flygande bom-principen (F7, Såtenäs, 2012). Gruppen fick även mycket användbar information om vart man kunde söka efter mer information kring lufttankning.

4.3. Tillämpning av beräkningsmodeller

För att besvara forskningsfrågorna rörande hur bränsleförbrukningen och kostnaden kommer att påverkas om lufttankning införs på civilt flyg har beräkningar utförts. För att göra dessa beräkningar har ett program som grundar sig på *Brequets range equation* (*Metod* 3.1) skrivits i beräkningsprogrammet Matlab. *Brequets range equation* är en vanligt förekommande ekvation vid liknande beräkningar och ansågs därför vara lämplig att använda för dessa beräkningar. Programmet beräknar förutom bränsleförbrukningen även kostnaden att flyga en viss sträcka och volymen bränsle att tanka vid angivna platser. I programmet användes en uppskattning på tankerflygplanens bränsleförbrukning som gjordes enligt avsnitt 3.1 och finns sammanställd i bilaga 1. Kostnaden har uppskattats enligt avsnitt 3.1. Vid alla beräkningar har maximal passagerarkapacitet på flygplanen antagits.

Vid beräkningarna har tre vanliga flygrutter med olika distanser studerats, London – New York, London – Singapore, London – Sydney. På alla dessa rutter har lämpliga baser för tankerflygplan lokaliserats och kartlagts. Information om rutterna som valts samt möjliga baser för tankerplanen finns i bilaga 2. Beräkningar har därefter gjorts på alla tre rutter med data på tre flygplansmodeller i tre olika storleksklasser, Boeing 737-800, Boeing 777-300ER och Airbus A380-800. Information om dessa modeller har hämtats från respektive tillverkares hemsida och finns sammanställt i bilaga 3. Alla möjliga kombinationer av antal tankningar och vart på flygsträckan tankningen sker har testats på de tre rutterna för att kunna besvara frågorna som ställts i avsnittet *forskningsfrågor.*

4.4. Säkerhet

För att undersöka om säkerheten vid lufttankning kan vara en hindrande faktor vid en implementation på civilt flyg har olyckor som involverar lufttankning kartlagts och resultaten från den kvalitativa intervjun med flygkaptenen på F7 använts. Olyckor som involverar lufttankning har kartlagts för att se hur antalet olyckor relaterar till antalet utförda tankoperationer. För att göra detta har olycksstatistik för tankerflygplan studerats. Resultatet från den kvalitativa intervjun har används för att avgöra vad militären anser om säkerheten rörande lufttankning.

4.5. Tidsåtgång

För att besvara forskningsfrågan rörande hur tidsåtgången kommer att påverkas om lufttankning införs på civilt flyg har beräkningar gjorts och information tagits från resultatet av den kvalitativa intervjun med flygkaptenen på F7 Såtenäs. Till att börja med beräknades tidsåtgången att tanka ett flygplan enligt formeln nedan:

$$t = \frac{m}{v} + t_p$$

$t = Tidsåtgången$
$m = Mängden\ bränsle\ att\ tanka$
$v = flödeshastigheten$
$t_p = Tiden\ att\ synkronisera\ tankerplan\ och\ mottagande\ flygplan$

t_p uppskattades med hjälp av resultatet från den kvalitativa studien på F7 i Såtenäs, v finns tidigare nämnt i avsnitt 2.2.3. och m fås ur beräkningarna som gjorts för att besvara forskningsfrågan om miljöpåverkan.

Militären använder idag ett lufttankningssystem där tankerplanet enbart får tanka inom ett förutsatt område. I detta område cirkulerar tankerplanet i en vänstersväng och inväntar kommande mottagarflygplan (Flygkapten F7 Såtenäs, 2012). Det är däremot inte fördelaktigt att tanka med denna metod i civil tillämpning då lufttankning kommer innebära ett allt för stort tidspålägg. Istället har antagandet gjorts att lufttankning sker i samma riktning som flygrutten (Flygkapten F7 Såtenäs, 2012).

För att avgöra hur viktig tidsåtgången var för allmänheten användes resultatet av den halvkvalitativa undersökningen på Landvetter flygplats

4.6. Allmänhetens acceptans

För att besvara forskningsfrågan rörande allmänhetens acceptans av lufttankning av civila flygplan har allmänhetens åsikter kring ämnet beaktats. För att göra detta har resultatet från den halvkvalitativa studien på Landvetter flygplats använts. Utifrån resultatet har sedan slutsatser kring ovan nämnda forskningsfråga kunnat dras.

5. Resultat

I detta avsnitt besvaras de frågor som tidigare ställts i avsnittet *forskningsfrågor.* I slutet av varje avsnitt finns en slutsats som kortfattat beskriver resultatet.

5.1. *Hur kommer flygets kostnader och bränsleförbrukning påverkas om lufttankning införs på civilt flyg?*

För att besvara frågorna hur bränsleåtgång och flygbolagens ekonomi påverkas vid en implementation av lufttankning på civilt flyg har beräkningar på detta utförts. I avsnittet som följer redovisas resultatet av dessa beräkningar som gjorts på hur bränsleförbrukningen och kostnaden påverkas då lufttankning används på tre olika rutter, London – New York (6060 km), London – Singapore (10 888 km) och London – Sydney (17 016 km). Bränsleförbrukningen redovisas som förbrukat bränsle per last [lbs bränsle/lbs last] och förbrukat bränsle per passagerare [lbs bränsle/passagerare], kostnaden redovisas som kostnad per passagerare [USD/passagerare]. Vid alla beräkningar har fullastade flygplan konfigurerade med endast ekonomiklass antagits.

5.1.1. London – New York

På sträckan London – New York har tre möjliga platser för lufttankningsoperationer identifierats, utanför Belfast, södra Island och södra Grönland. Vid alla dessa finns lämpliga flygplatser som kan användas som bas för tankerflygplanen, mer information om rutten och de flygplatser som föreslås som baser för tankerflygplanen finns i bilaga 2.

I tabell 1 nedan redovisas resultaten av de beräkningar som gjorts på bränsleförbrukningen för alla möjliga kombinationerna av ovan nämnda platser. Boeing 737-800 har inte tillräcklig räckvidd för att flyga sträckan direkt utan att lufttankas varpå ingen beräkning på detta scenario gjorts.

	737-800		777-300ER		A380-800	
	Förbr./last [lbs]	Förbr./pass. [lbs]	Förbr./last [lbs]	Förbr./pass. [lbs]	Förbr./last [lbs]	Förbr./pass. [lbs]
Ingen tankning	N/A	N/A	1,0619	300	1,2801	295
Irland	1,0866	268	1,1189	316	1,3092	302
Island	1,0562	260	1,0902	308	1,2747	294
Grönland	1,0543	260	1,0890	308	1,2732	294
Irland och Island	1,1661	288	1,1781	333	1,3410	310
Irland och Grönland	1,1538	285	1,1664	330	1,3269	306
Island och Grönland	1,1509	284	1,1642	329	1,3243	305
Irland, Island och Grönland	1,2593	310	1,2505	354	1,3887	321

Tabell 1: Bränsleförbrukning London-New York

Tabell 1 visar att den totala bränsleförbrukningen på den relativt korta rutten London – New York ökar ju fler gånger flygplanen lufttankas, vilket beror på den extra bränsleförbrukning som tillkommer för tankerflygplanen. Detta gör att det för Boeing 777-300ER och Airbus A380-800 som kan flyga hela distansen utan att tankas är effektivast att inte tanka alls. Boeing 737-800 kan, som tidigare nämnts, inte flyga hela

distansen utan att tankas på grund av sin begränsade räckvidd och i detta fall är det effektivast att lufttanka flygplanet en gång vid Grönland. Detta alternativ är även det mest bränsleeffektiva med avseende till både förbrukning per passagerare och förbrukning per last. Då man ser till bränsleförbrukning per passagerare innebär det en bränslebesparing på 12-13 procent jämfört med att flyga rutten utan att tanka med antingen Airbus A380-800 eller Boeing 777-300ER. Detta beror på att det mindre flygplanet Boeing 737-800 väger mindre per passagerare än de större flygplanen och därför är bränsleeffektivare. Ser man istället till förbrukning per last innebär användandet av ett Boeing 737-800 som lufttankas över Grönland ingen nämnvärt bränslebesparing jämfört med Boeing 777-300ER, men en bränslebesparing på 18 procent jämfört med Airbus A380-800. Även i detta fall beror bränslebesparingen på att Boeing 737-800 väger mindre per last det kan bära. I fallet med Boeing 777-300ER är skillnaden dock inte tillräckligt stor för väga upp den extra bränsleförbrukning som tillkommer för tankerflygplanet. Av resultatet kan även slutsatserna dras att det är bränsleeffektivast att tanka ungefär i mitten av flygningen och att det inte är bränsleeffektivt att tanka kort efter start.

I tabell 2 nedan redovisas resultaten av beräkningarna på kostnaden att använda lufttankning på rutten London – New York.

	737-800	777-300ER	A380-800
	Kost./Pass.[USD]	Kost./Pass.[USD]	Kost./Pass.[USD]
Ingen tankning	N/A	169	167
Irland	568	687	676
Island	444	540	532
Grönland	335	409	403
Irland och Island	544	651	651
Irland och Grönland	536	652	641
Island och Grönland	429	524	515
Irland, Island och Grönland	529	644	633

Tabell 2: Kostnad London-New York

Tabell 2 visar att det innebär en stor kostnadsökning att använda sig av lufttankning gentemot att flyga rutten utan att tanka. Detta beror på att jetbränsle levererat i luften enligt de antaganden som gjorts är nästan sex gånger så dyrt som jetbränsle levererat på marken. Att använda sig av det bränsleeffektivaste alternativet, ett Boeing 737-800 som lufttankas vid Grönland innebär en kostnadsökning på 100 procent.

5.1.2. London – Singapore

Beräkningarna som gjorts på rutten London – New York har även gjorts på den ungefär dubbelt så långa rutten London – Singapore. Lämpliga baser för tankerflygplanen på rutten har identifierats och finns redovisade i bilaga 2.

Vid beräkningarna som redovisas i tabell 3 nedan har de slutsatser som drogs av resultatet av beräkningarna på rutten London – New York används. Detta innebär att lufttankning kort efter start inte utvärderas och att tankningarna fördelas med så jämna mellanrum som möjligt över distansen.

	737-800		777-300ER		A380-800	
	Förbr./last [lbs]	Förb./pass. [lbs]	Förbr./last [lbs]	Förb./pass. [lbs]	Förbr./last [lbs]	Förb./pass. [lbs]
Ingen tankning	N/A	N/A	2,0297	574	2,4469	565
Jalalabad	N/A	N/A	1,8981	537	2,2486	519
Atyrau, New Delhi	1,8769	463	1,9244	544	2,2407	517
Volgograd, Jalalabad, Calcutta	1,9604	484	1,9871	562	2,2768	525
Kiev, Buxoro, New Delhi, Port Blair	2,0576	508	2,0628	583	2,3285	538

Tabell 3: Bränsleförbrukning London-Singapore

Tabell 3 visar att det på den längre sträckan London – Singapore är bränsleeffektivt att lufttanka även de större flygplanen Boeing 777-300ER och Airbus A380-800. Detta då den lägre bränsleförbrukningen som fås av att flyga med mindre bränsle ombord på den längre sträckan väger upp den extra bränsleförbrukning som tillkommer för tankerflygplanen. Bränsleeffektivast totalt sett är att lufttanka ett Boeing 737-800 två gånger vilket innebär en bränslebesparing på 18-20 procent sett till förbrukning per passagerare jämfört med att flyga rutten med direktflyg. Ser man till förbrukning per last innebär användandet av Boeing 737-800 en bränslebesparing på 8 procent jämfört med Boeing 777-300ER och 23 procent jämfört med Airbus A380-800.

I tabell 4 nedan redovisas resultaten av beräkningarna på kostnaden att använda lufttankning på rutten London – Singapore.

	737-800	777-300ER	A380-800
	Kost./Pass. [USD]	Kost./Pass. [USD]	Kost./Pass. [USD]
Ingen tankning	N/A	300	296
Jalalabad	N/A	740	729
Atyrau och New Delhi	749	908	893
Volgograd, Jalalabad, Calcutta	776	941	927
Kiev, Buxoro, New Delhi, Port Blair	841	1020	1005

Tabell 4: Kostnad London-Singapore

Tabell 4 visar att det trots den relativt stora bränslebesparingen som kan göras vid användande av lufttankning på rutten London – Singapore innebär en stor kostnadsökning att göra så. Detta beror liksom på sträckan London – New York på den höga kostnaden för jetbränsle levererat i luften. Det bränsleeffektivaste alternativet att lufttanka ett Boeing 737-800 två gånger innebär en kostnadsökning på 150 procent.

5.1.3. London – Sydney

Den längsta rutten som beräkningar gjorts på är London – Sydney. Denna rutt trafikeras i dagsläget inte med direktflyg på grund av sin längd utan kräver mellanlandningar för bränslepåfyllnad alternativt flygplansbyte. Då rutten studerats har Singapore antagits som bas för mellanlandningar då denna plats används av många flygbolag i detta syfte, exempelvis Qantas Airways (Qantas Airways, 2012).

I tabell 5 nedan redovisas resultaten av beräkningarna av bränsleförbrukningen vid användande av lufttankning på rutten London – Sydney.

	737-800		777-300ER		A380-800	
	Förbr./last [lbs]	Förb./pass. [lbs]	Förbr./last [lbs]	Förb./pass. [lbs]	Förbr./last [lbs]	Förb./pass. [lbs]
Mellanlandning Singapore	N/A	N/A	3,1363	887	3.7810	873
Chongqing	N/A	N/A	3,0486	862	3,6355	840
Urumqi och Puerto Princesa	N/A	N/A	2,9745	841	3,5065	810
Astana, Chongqing, Manado	2,9108	719	2,9796	843	3,4731	802
Kazan, Urumqi, Hong Kong, Darwin	2,9747	735	3,0235	855	3,4865	805
5 tankningar (jämt fördelat)	3,0568	755	3,0850	873	3,5210	813

Tabell 5: Bränsleförbrukning London-Sydney

Resultatet visar att det på sträckan London - Sydney liksom på sträckan London – Singapore är bränsleeffektivt att lufttanka även de större flygplanen Boeing 777-300ER och Airbus A380-800. Bränslebesparingen här beror förutom på den lägre bränsleförbrukningen som fås då man flyger med mindre bränsle ombord även på att man slipper mellanlanda. Bränslebesparingen vid användande av lufttankning på de större flygplanen är 8 procent för Airbus A380-800 och 5 procent för Boeing 777-300ER. Bränsleeffektivast totalt sett är att lufttanka ett Boeing 737-800 tre gånger vilket ger en bränslebesparing sett till förbrukning per passagerare på 19 procent jämfört med att flyga sträckan med mellanlandning i Singapore med något av de större flygplanen.

I tabell 6 nedan redovisas resultaten av kostnadsberäkningarna på rutten London – Sydney.

	737-800	777-300ER	A380-800
	Kost./Pass. [USD]	Kost./Pass. [USD]	Kost./Pass. [USD]
Mellanlandning Singapore	N/A	475	469
Chongqing 8555 km	N/A	1279	1259
Urumqi och Puerto Princesa	N/A	1421	1399
Astana, Chongqing, Manado	1250	1508	1485
Kazan, Urumqi, Hong Kong, Darwin	1347	1628	1602
5 tankningar (jämt fördelat)	1359	1644	1618

Tabell 6: Kostnad London-Sydney

Resultaten i tabell 6 är liknande de som fåtts vid beräkningar på de tidigare rutterna och visar på en stor kostnadsökning vid användande av lufttankning.

5.1.4. Slutsats

I tabell 7 är den möjliga bränslebesparingen för de tre rutter som studerats sammanfattad. Tabellen visar möjligt bränslebesparing då de större flygplanen Airbus A380-800 och Boeing 777-300ER lufttankas samt möjlig bränslebesparing då rutten istället flygs med det mindre flygplanet Boeing 737-800.

	777	A380	737 (förbrukning/ passagerare)	737 (förbrukning/ last)
London-New York	Ingen besparing	Ingen besparing	12-13 %	1 % (777), 18 % (A380)
London-Singapore	6,5 %	8,5 %	18-19 %	8 % (777), 24 % (A380)
London-Sydney	5 %	8 %	18-19 %	7 % (777), 23 % (A380)

Tabell 7: Sammanfattat resultat

Resultaten visar alltså att lufttankning kan innebära en relativt stor bränslebesparing vid implementation på civilt flyg. Den största besparingen görs genom att lufttankning gör det möjligt att flyga med mindre flygplan som är designade med relativt kort räckvidd på längre sträckor de i dagsläget inte kan flyga på.

Av resultaten att döma går det inte att dra några klara slutsatser om hur många lufttankningar som är bränsleeffektivast. I fallet med Boeing 737-800 är det bränsleeffektivast att tanka så få gånger som möjligt medan det för Boeing 777-300ER och Airbus A380-800 varierar mellan de olika rutterna. Slutsatserna kan dock dras att det är effektivast att fördela tanktillfällena så jämnt som möjligt över rutten och att det inte är bränsleekonomiskt att tanka kort efter start.

Resultaten visar även att användandet av lufttankning, trots den relativt stora bränslebesparingen som görs, innebär en stor kostnadsökning. Att flyga med det bränsleeffektivaste alternativet ett Boeing 737-800 som lufttankas innebär på de rutter som studerats en kostnadsökning på mellan 100-150 procent gentemot att flyga rutten med större flygplan utan att lufttanka.

5.2. *Kommer säkerheten vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg?*

För att besvara frågan i om flygsäkerheten kommer vara en hindrande faktor vid implementering av lufttankning på civilt flyg har undersökning av olycksstatistiken vid lufttankning samt en intervju med en expert på området gjorts. Resultatet av dess studier redovisas nedan.

5.2.1. Olycksstatistik

En sammanställning av olyckor involverande tankerplan av typ KC-135 som gjorts av Chris Hoctor på US Air Force visar att av de 803 stycken KC-135 som byggts har 77 totalförstörts vid olyckor, av dessa har endast fem olyckor skett i samband med tankningsprocessen och dessa skedde mellan åren 1959-1970. Sammanställningen visar även att man under Vietnamkriget endast hade fem förstörda tankerplan av typen KC-135 varav inget förstördes i samband med tankeprocessen. Detta kan ställas i relation med att man under kriget utförde mer än 814 000 tankningar (Range International, 2012).

5.2.2. Kvalitativ studie på F7 Såtenäs

Gällande säkerheten kring lufttankning i dagens militära system berättade en flygkapten på F7 Såtenäs att det har gjorts stora framsteg med lufttankningssäkerheten och att han ansåg det vara väldigt säkert. Han berättade dock en del om de problem som finns i det

militära idag och vilka områden som fortfarande hade möjligheter att förbättras. Bland annat berättade han om problemet som uppstår när befintliga flygplan skall byggas om för att anpassas till lufttankning. Ett exempel är det svenska JAS-plan som byggts om och används idag vid militärens lufttankningsuppdrag. Den bom som används för att docka till tankerplanet ligger på ena vingen och är på grund av detta svårmanövrerat. Piloten har ingen direkt uppsikt över dockningen med tankerplanet om denne försöker hålla god uppsikt till tankerplanet och tankningsförloppet blir därför onödigt komplicerad. En stor förbättring hade varit om bommen hade befunnit sig över nosen så att den hade varit i pilotens synvinkel under navigeringen.

Ett annat problem som finns är när väderleken ställer till med problem. Till exempel är det i dagsläget inte möjligt att tanka i åskväder, och denna säkerhetsrisk gör att många planerade lufttankningar måste läggas om för att undvika dessa åskmoln.

Många av de säkerhetsrisker där den mänskliga faktorn är den störst bidragande faktorn, kommer enligt flygkaptenen att i framtiden elimineras tack vare en automatiserad process, där till exempel en bom-operatör ersätts med en automatiserad process som kan sköta hela förloppet automatiskt. På så sätt behöver inte missbedömningar av avstånd och liknande vara en risk.

5.2.3. Slutsats

Om man ställer antalet olyckor i relation till de miljontals tankoperationer som utförts under de över 60 år som lufttankning använts samt tar hänsyn till att den senaste olyckan där ett tankplan förstördes under tankningsprocessen skedde 1970, får lufttankning idag anses vara säkert. Denna uppfattning delas av US Air Force som regelbundet lufttankar Air Force One (modifierat Boeing 747) när det transporterar presidenten och andra personer med hög ställning i den amerikanska regeringen och säkerhetstjänsten.

Det kan även tilläggas att det enligt flygkaptenen på F7 inte finns några uppenbara extra risker med lufttankning utan att det enligt honom inte borde vara några hinder för införandet av lufttankning till den civila flygindustrin, med avseende på säkerheten.

5.3. *Hur påverkas flygtiden då lufttankning används på civilt flyg?*

För att besvara frågan hur tidsåtgången påverkas vid användande av lufttankning på civilt flyg har den militära användningen av lufttankningen studerats och beräkningar gjorts. Nedan redovisas resultatet av denna undersökning.

5.3.1 Extra tidsåtgång vid lufttankning

Enligt den kvalitativa intervju som gjorts med flygkaptenen på F7 i Såtenäs kan flygplan luftankas vid både marschfart och vid marschhöjd. Detta innebär då ett antagande gjorts att tankningsriktningen går i samma riktning som den ursprungliga rutten, att själva tankningen inte kommer resultera i någon extra tidsåtgång. Det enda som kommer att bidra till en extra tidsåtgång är då den tid det tar att synkronisera tankerplanet med det flygplan som skall tankas. Eftersom tankerplanen förmodligen inte kommer att befinna sig mitt på ett flygplans rutt så kommer flygplanet att behöva avvika från sin egen rutt, vilket i sin tur leder till en tidsfördröjning. Denna tidsfördröjning bör enligt flygkaptenen ligga mellan 10-15 minuter.

Resultaten av de beräkningar som gjorts på tidsåtgången att tanka de tre flygplan som behandlas redovisas i tabell 8 nedan. Tabellen visar både tidsåtgången då flygplanen tankas fullt och tidsåtgången för en typisk tankning.

	Tidsåtgång full tank	Tidsåtgång typisk tankning
Boeing 737-800	10.4 min	9 min (90 % tank)
Boeing 777-300ER	72,5 min	29 min (40 % tank)
Airbus A380-800	128 min	77 min (60 % tank)

Tabell 8: Tidsåtgång för bränsleöverföring

Här observeras att en tankning med Boeing 737-800 sällan kommer att överskrida 10 minuter, vilket är en förhållandevis liten tid när man jämför med de större flygplanen som Boeing 777-300ER och Airbus A380-800, där den maximala tankningstiden kan bli mer än 7 gånger respektive 12 gånger så lång. Dock så sker aldrig en full lufttankning i något av koncepten som har behandlats i detta projektarbete, utan då lufttankas det med en betydligt mindre mängd bränsle. Det mest optimala tankningsscenariot mellan London och Singapore med en Boeing 777-300ER är att tanka en gång någonstans i mitten av rutten. En sådan tankning skulle uppgå till ungefär 40 procent av den maximala tankningsförmågan, och alltså 40 procent av den maximala tankningstiden, vilket ungefär blir cirka 29 minuter. För en tankning i mitten av rutten London - Sydney med Airbus A380-800 så skulle en tankning ta ungefär 77 minuter, vilket motsvarar cirka 60 procent av den maximala tankningskapaciteten.

På längre sträcker som idag inte trafikeras med direktflyg utan kräver mellanlandning för bränslepåfyllnad kan lufttankning innebära en relativt stor tidsbesparing. Enligt flygbolaget Qantas hemsida är vanligtvis stoppet deras flygplan gör på Changi airport i Singapore vid flygningar mellan London – Sydney ungefär 1,5 timmar (Qantas Airways, 2012). Skulle denna mellanlandning ersättas med en lufttankning skulle en tidsbesparing på uppemot 1,5 timmar kunna göras.

Införandet av lufttankning skulle också möjliggöra flygningar som idag inte existerar. Sådana flygsträckor skulle kunna vara mellan två mindre städer där flygtrafiken inte är lika stor som mellan de största städerna. Flygbolagen kan då oftast inte fylla ett större flygplan som krävs för att flyga en sträcka som överskrider cirka 5500 km (se bilaga 3). Lufttankning skulle då möjliggöra för mindre flygplansmodeller att flyga distansen och också fylla upp flygplanet helt. Ett sådant exempel är sträckan Göteborg – Orlando där en flygresa mellan dessa städer skulle innebära normalt två mellanlandningar, i exempelvis Köpenhamn och Chicago, och på så sätt ta betydligt längre tid än att flyga direkt. En flygning direkt mellan Göteborg – Orlando med ett mindre flygplan som en Boeing 737-800 skulle ta cirka nio timmar medan dagens scenario med två mellanlandningar kan ta upp till 16 timmar, en tidsbesparing på cirka 45 procent (GCMAP, 2012).

Efter att ha genomfört intervjuer på Landvetter flygplats med 86 resenärer och personal så kan det konstateras att tidsåtgången för en flygresa väger relativt högt för resenärerna. Att komma fram på kortast tid möjliga är alltså en hög prioritet hos allmänheten. Resultatet att flygtankning kommer att ta cirka 5 – 15 minuter per flygtankning är alltså negativt i avseende på resenärernas syn på flygtiden.

5.3.2 Slutsats

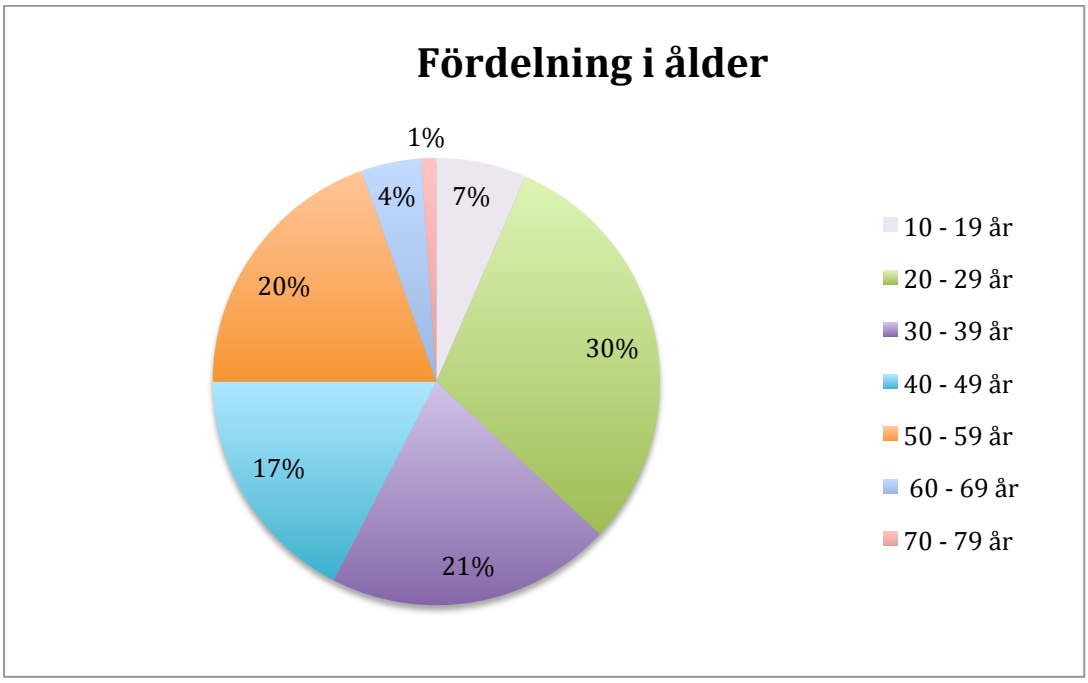
För att sammanfatta resultatet av undersökningen för tidsåtgången kan man säga att eftersom en lufttankning kan ske i både marschfart och på en typisk marschhöjd blir den enda extra tidsåtgången per tankning den som tillkommer för att synkronisera tankerplanet med det mottagande flygplanet. Denna tid har uppskattats till mellan 10 och 15 minuter, beroende på avståndet mellan platsen för tankningen och ursprungsrutten för passagerarplanet. På längre sträcker där det i dagsläget krävs mellanlandning kan lufttankning innebär en tidsbesparing på ungefär 1,5 timmar då mellanlandningen elimineras.

5.4. *Kommer allmänhetens acceptans vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg?*

För att undersöka om allmänhetens acceptans kommer vara en hindrande faktor vid en implementation av lufttankning på civilt flyg har en studie på området gjorts. Studien som gjordes på Landvetter flygplats gav en inblick hur allmänheten skulle reagera på ifall man skull införa lufttanking för kommersiellt bruk. Studien genomfördes under ett intervall på cirka fyra timmar där 86 personer deltog, varav 52 var män. Intervjun var utformad på semi-kvalitativ manér, detta eftersom antalet respondenterna var av ett större antal (se avsnitt 3.2 *intervjumetodik*). I kommande stycken redovisas först åldersfördelningen på de personer som medverkade i studien följt av resultaten studien gav.

5.4.1. Åldersgrupper

Fokusgruppen som studerades på Landvetter flygplats var av varierad ålder. Intervjun täckte ett intervall på åldrar från 10-70 år, där antalet i varje åldersegment varierade enligt Figur 1. Intervjugruppen utgick inte efter en specifik profil utan deltagare valdes slumpmässigt, vilket resulterade i den spridda fördelningen i antal per åldersgrupp som visas nedan. Det var viktigt att få med ett brett åldersintervall då man ville få med alla variationer av svar i alla åldrar.



Figur 4: Åldersfördelning

5.4.2. Enkäten

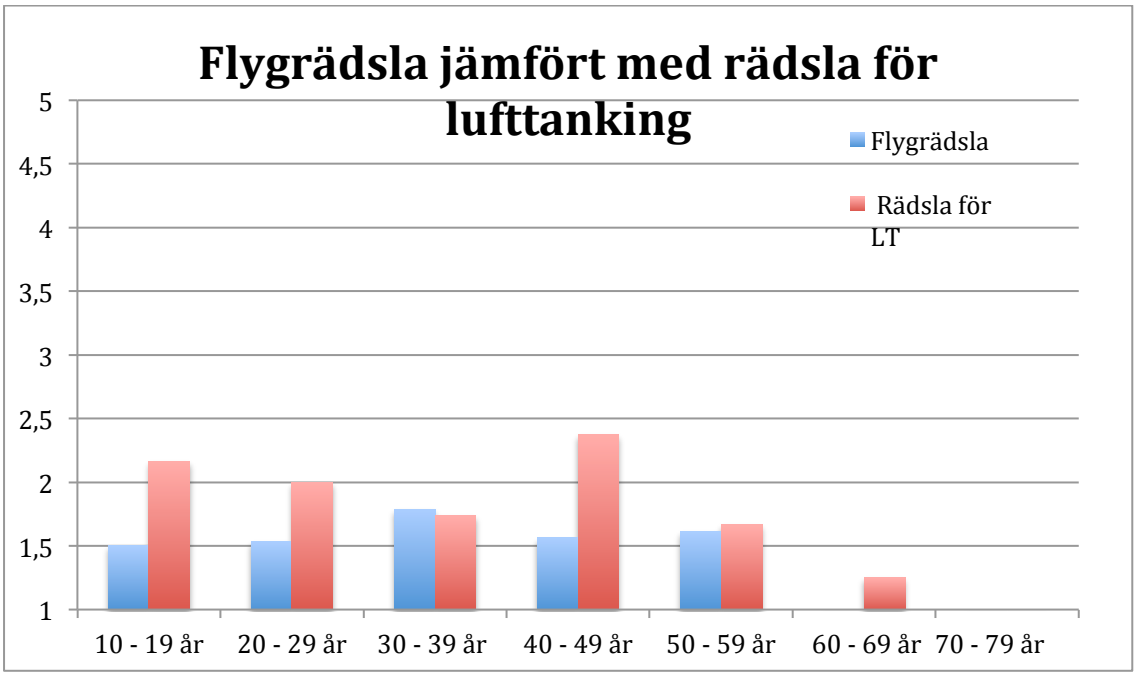
Enkäten som gjordes för studien utformades för att ge svar till forskningsfrågan, *"Kommer allmänhetens acceptans vara en hindrande faktor vid införande av lufttankning på civilt flyg?"*. Denna forskningsfråga kan delas upp i två delfrågeställningar vilka besvaras i kommande stycken.

Frågeställning 1: *Kommer passagerarna acceptera att flyga med plan som lufttankas?*

För att besvara denna fråga ställdes frågorna:

- *Är du rädd för att flyga?"*.
- *Hur kommer ett införande av lufttankning på civilt flyg påverka din flygrädsla*?

Vid båda dessa frågor fick de tillfrågade ge ett svar på en skala 1-5, där den lägsta siffran symboliserade "jag är inte flygrädd alls" och högsta "jag kommer aldrig sätta mig i ett flygplan". Den första frågan ställdes för att urskilja ett eventuellt samband mellan flygrädsla och rädsla inför att flyga med ett flygplan som lufttankas. Svaren på frågorna har sammanställts i figur 5 nedan.

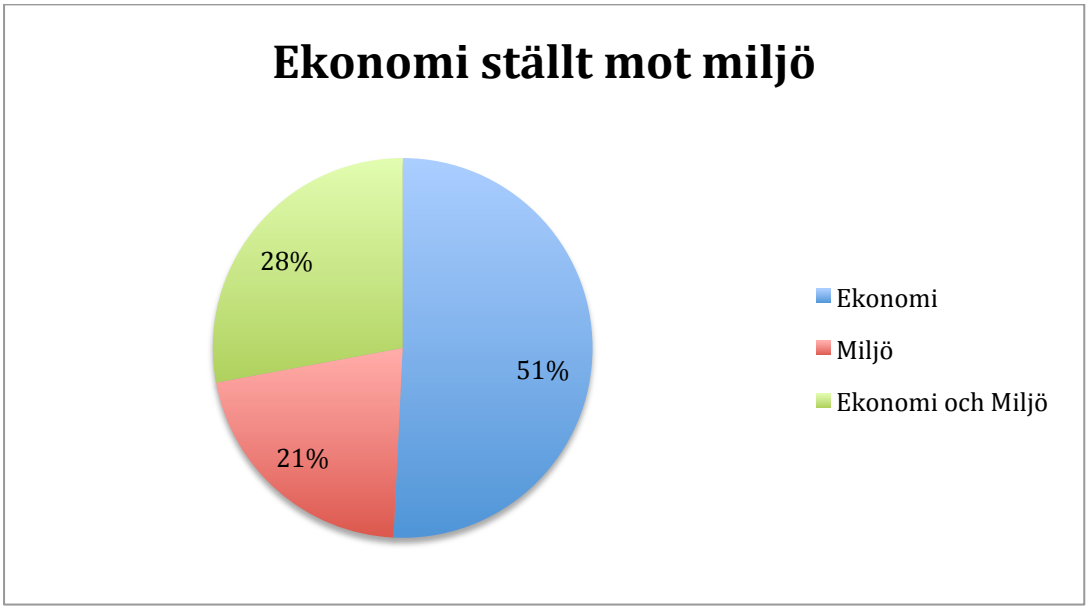


Figur 5: Flygrädsla jämfört med rädsla för lufttankning

Resultatet visar på en viss skepticism hos allmänheten inför att flyga med flygplan som lufttankas. Mest motvilliga att flyga med lufttankning var människor i åldern 40-49 år. Något tydligt samband mellan flygrädsla och rädsla inför att flyga med lufttanking kan inte dras av resultatet.

Frågeställning 2: *Vilken av de två möjliga fördelarna som kan finnas med lufttankning, minskad miljöpåverkan eller lägre kostnad är viktigast för allmänheten?*

Respondenterna fick svara på vilken av dessa tre faktorer som gav dem störst belåtenhet. Till skillnad från fråga 1 skulle deltagarna ge ett så kallat ”ja eller nej” på ett av dem tre nämnda alternativen. Det framföras tydligt att den ekonomiska faktorn är dominant, då 51 procent svarade positivt i kategorin ”Ekonomi” och 28 procent i ”Ekonomi och Miljö”.



Figur 6: Viktigaste incitamenten för lufttakning

5.4.3. Slutsats

Resultatet från första frågan visar att det finns ett motstånd till att införa lufttankning kommersiellt, då majoriteten av respondenterna visade rädsla inför att flyga med ett flygplan som lufttankas. Resultatet är dock inte helt enhetligt då ett flertal tillfrågade personer ansåg att lufttankning var säkert, bland annat för att det förekommer frekvent inom den militära sektorn.

Enligt resultatet som visas i figur 6 kan man kunna dra slutsatsen att den faktor som väger tyngst för passageraren är ekonomin. Dock ska det nämnas att en relativt stor andel av respondenterna var positivt värnade till miljön, vilket betyder att denna faktor är allt annat än försumbar. En kombination av ekonomi och miljö är att föredra för att övertyga både den konventionella och moderna flygresenären.

6. Diskussion av resultaten

I detta avsnitt kommer resultaten diskuteras i avseende att besvara de forskningsfrågor som ställdes i *Syftet.* För tydlighetens skull har stycket delats in så att varje forskningsfråga får en egen diskussion vilken ämnar att förtydliga de resultat som erhållits. Denna förtydling sker genom att förklara hur resultaten kan tolkas, varför de erhållits, vilka begränsningar som funnits under studien och hur dessa resultat relaterar till resultaten från övriga studier på området.

6.1. Hur påverkas flygets bränsleförbrukning om lufttankning införs på civilt flyg?

Resultaten från avsnitt *5.1* visar att ett införande av lufttankning kommer att medföra en bränslebesparing på samtliga flygsträckor som undersökts.

En annan aspekt som skulle utredas i studien var ifall flygsträckans längd inverkade på hur stor bränslebesparing man kunde uppnå med hjälp av lufttankning. Resultaten tyder på att ju längre sträckan blir desto mer kan man spara genom användandet av lufttankning.

Ytterligare en frågeställning som togs upp i början av studien var hur frekvensen av lufttankningar påverkade bränsleförbrukningen. Det visade sig att den generella trenden gällande mindre passagerarplan som Boeing 737, pekade på så få tankningar som möjligt, vilka var jämnt fördelade över flygsträckan. Angående de större flygplansmodellerna observerades däremot inget tydligt mönster gällande antalet lufttankningar och bränsleförbrukningen.

Resultaten innebär att man genom att endast använda befintlig beprövad teknik, kan reducera flygets bränsleförbrukning med upp till 19 procent. Vidare innebär de stora bränslebesparingarna med flygplanstyper konstruerade för kortare sträckor att det uppenbarligen finns ytterligare potential till bränslebesparingar ifall man skulle bygga flygplan mer anpassade för lufttankning. Detta innebär lättare konstruktioner med fler passagerarplatser och mindre bränsletankar vilket är en följd av att flygplanen är konstruerade för att flyga kortare sträckor än i nuläget. Sett ur en miljösynpunkt är detta mycket positivt och kan man göra dessa bränslebesparingar, vilket är synonymt med koldioxidutsläpp, har man kommit en bra bit på vägen gentemot att lösa den ständigt växande flygtrafikens miljöpåverkan.

Den i sammanhanget stora bränslebesparingen beror till största del på att man använder lufttankning som ett sätt att möjliggöra långflygningar med små flygplan designade för kortare rutter. Jämförelsen mellan detta scenario och scenariot i dagsläget, med stora flygplan som flyger non-stop alternativt mellanlandar, är det som resulterar i de största bränslebesparingarna. Viktigt att nämna är att även om man skulle flyga med en stor flygplanstyp och lufttanka, skulle detta resultera i en bränslebesparing gentemot en flygning utan lufttankning. Denna besparing är ungefär hälften av den besparing man kan uppnå med att flyga med de mindre planen. Gällande antalet tankningar som var effektivast att genomföra under en flygning observerades inget tydligt mönster för samtliga flygplanstyper. Vad som däremot kan sägas är att i de fall då det mindre Boeing 737 användes, var det effektivast att tanka detta nästintill fullt och använda hela dess räckvidd. Alla besparingar som nämnts gäller för passagerarplan och är då bränslebesparing per passagerare, en utvärdering av bränslebesparing per last i pounds gjordes också vilket gav liknande resultat dock med något mindre besparingar som följd. Boeing 777 avvek från övriga flygplanstyper, vilket var

effektivare som transportplan utan lufttankning. Detta resultat kan inte förklaras med gällande teorier, men troligtvis är det så att denna flygplanstyp har konstruerats mer effektivt med avseende på viktbesparing än exempelvis Airbus A380. Något som överensstämmer med specifikationerna för flygplansmodellerna. Kontentan av detta är återigen att den flygplanstyp som lämpar sig bäst för lufttankning i dagsläget är kortdistansflygplan, skulle man utveckla en optimerad flygplanstyp för lufttankning baserad på denna information skulle detta troligtvis resultera i än större bränslebesparingar vilket diskuteras i Nangias studie (2006).

Basen för alla bränsleberäkningar har varit Brequets Range Equation som endast är en approximativ uppskattning av främst räckvidder för flygplan. Dessutom har denna modifierats med, visserligen rimliga, antaganden vilket ökar osäkerheten ytterligare. Vidare bygger tankerplanens förbrukning på en standardiserad uppskattning av befintliga militära tankerflyguppdrag och tidspålägget som flygplanen åsidosätter för lufttankning har ej tagits med i beräkningarna.

Det finns egentligen bara en annan studie kända för författarna, inom området (Nangia, R K 2006). Resultaten från Nangias studie bygger ej på befintlig teknik utan fiktionella flygplanstyper optimerade för lufttankning. Beräkningarna är dessutom mer generella vilket betyder att en hel del förenklingar gjorts och orimliga flygsträckor för flygplanstyperna antagits. Vidare är siffror på tankerplanens bidrag till förbrukningen baserade på fiktionella flygplanstyper. Nangias studie (2006) resulterar i bränslebesparingar på upp till 35 procent vilket kan jämföras med de 10-20 procent som finns att hitta i avsnitt *5.1* i denna rapport. Skillnaden beror troligtvis på ovan nämnda faktorer och visar att ytterligare besparingar kommer att kunna göras genom att utveckla och optimera flygplanstyper och procedurer för lufttankning. Sammantaget bidrar denna rapports resultat till en mer realistisk bild av hur införandet av lufttankning skulle påverka den civila flygindustrin i dagsläget. Och de bränslebesparingar som resultaten visar är möjliga med lufttankning ligger med all säkerhet i den nedre regionen av de besparingar som verkligen kommer att ske då detta tillämpas i praktiken.

6.2. Hur påverkas flygbolagens kostnader om lufttankning införs på civilt flyg?

Resultaten från avsnittet *5.1* visar att ett införande av lufttankning i den civila sektorn initialt kommer ha en negativ påverkan på flygbolagens kostnader.

Till skillnad från bränsleförbrukningen ökar kostnaden med sträckans längd.

Gällande hur antalet lufttankningar på en flygsträcka påverkar ekonomin, kan endast sägas att ju fler lufttankningar som utförs desto sämre är det ekonomiskt sett.

Baserat på det erhållna resultatet, vilket bygger på en grov militär kostnadsuppskattning, inses att ett införande av lufttankning skulle vara svår att genomföra i dagsläget utan någon hjälp i form av lagkrav eller politiska incitament. Detta beror på att flygbolagen i första hand är vinstdrivande företag, och som sådana vill de hålla nere sina omkostnader för att öka vinsten. Givetvis är sänkta miljöskatter och andra minskade avgifter på grund av lägre koldioxidutsläpp något som skulle kunna minska den ekonomiska klyftan mellan flyg med lufttankning och flyget idag. Resultaten visar också att det är på grund av utnyttjandet av tankerplan som ekonomin blir lidande vid en implementation av lufttankning. Priset för att operera tankerflygplanen måste alltså sjunka drastiskt ifall lufttankning skall kunna övervägas som en lösning på flygets miljöproblem. Att kostnaden för lufttankning ökar med sträckans längd innebär att det

blir dyrare för flygbolagen och därmed troligtvis passagerarna ju mindre koldioxid man släpper ut under resans gång. Miljövänlighet kostar alltså, vilket det även gjort vid införandet av miljövänliga metoder inom många andra branscher, ofta subventionerat med statliga bidrag eller lättade miljöskatter.

Att lufttankning ej är ekonomiskt fördelaktigt beror på den höga kostnaden att driva tankerflygplanen. Priset på flygbränsle levererat med tankerflygplan ligger på 17.5 USD/gallon vilket kan jämföras med 3.16 USD/gallon för bränsle levererat på marken. Som synes finns en stor klyfta mellan dessa två bränslekostnader. Kostnaden för bränsle levererat i luften är baserad på det Amerikanska flygvapnets medelkostnad för att använda ett tankerflygplan på ett rutinuppdrag. Troligtvis har militären andra ekonomiska förutsättningar än vad de kommersiella flygbolagen har, vilket delvis kan förklara de höga operationskostnaderna. I denna kostnad är det dessutom inräknat underhåll av tankerplanen, kostnader för att utbilda besättningar och logistiska kostnader som härstammar från att kunna operera över hela världen med mycket kort varsel. Användandet av lufttankning får dessutom, USA:s flygvapens storlek till trots, antas vara relativt liten i dagsläget jämfört med den omfattning en civil applikation skulle innebära. En stor ökning av användandet skulle troligtvis kunna dra ner kostnaderna ytterligare bland annat genom införande av tankhubbar där tankerplanen skulle kunna samlas på strategiska platser för att minska transportkostnaderna. Eventuella miljöskatter och avgifter har inte ingått i ramarna för denna studie varför det är möjligt att det redan idag är mer lönsamt att lufttanka än vad som framgår av denna rapport. Priset på flygbränsle idag får dessutom anses vara relativt lågt, troligtvis kommer detta stiga kraftigt i framtiden i takt med att de fossila bränslena tar slut. Då priset på flygbränsle stiger kommer detta gynna lufttankning rent ekonomiskt då själva bränslekostnaden för tankerplanen är låg i förhållande till operations och underhållskostnaderna, priset på bränsleförbrukningen för passagerarplanen ökar alltså medan kostnaden för att lufttanka ligger kvar på ungefär samma nivå vilket innebär att de ekonomiska nackdelarna med lufttankning med all säkerhet kommer att minska i framtiden.

Mycket av den ekonomiska utvärderingen bygger på uppskattade kostnader främst från militära användningsområden, dessa bygger som tidigare nämnts på lägre kostnadsfokus än kommersiella företag, utbildning av besättning och användning av dyr avancerad teknik. Dessa kostnadsuppskattningar har använts tillsammans med Brequet Range Equation och en rad antaganden och förenklingar vid användandet av denna. För att ytterligare utvärdera besparingsmöjligheterna för kommersiell lufttankning bör man kontakta och förhandla med något av de kommersiella lufttankningsföretag som finns på marknaden för att höra deras åsikt om tankerplanens omkostnader. En kvalitativ intervju med något av dessa bolag skulle troligtvis resultera i en bättre kostnadsuppskattning vid en eventuell fortsatt studie.

Denna kostnadsuppskattning skiljer sig markant ifrån övriga studier på området (Nangia, R K 2006). Detta beror troligtvis på att vår studie bygger på befintliga uppgifter och befintlig teknik utan någon hänsyn tagen till de troliga prissänkningar som kan göras ifall lufttankning skulle komma att implementeras i massiv skala. Likt bränsleberäkningarna är det troligtvis även skillnad i beräkningarnas noggrannhet och de antaganden som görs.

Avslutningsvis får det konstateras att lufttankning inte kommer medföra några ekonomiska fördelar vid införandet, men när kringliggande faktorer som miljöavgifter, stigande bränslepriser och politiska faktorer tas i åtanke, är det troligtvis heller inte så ekonomiskt ofördelaktigt som resultatet i denna rapport visar. Vidare inses att den prisuppskattning resultatet bygger på, 17,5 USD/gallon i luften jämfört med 3,16

USD/gallon på marken, är orimligt hög om man ser till en storskalig kommersiell tillämpning redan i dagsläget. För att lufttankning skall bli ekonomiskt lönsamt för flygbolagen, räknat med dagens oljepriser, skulle priset på bränsle levererat i luften behöva sjunka till 5,8 USD/gallon. Skulle man kunna få något kommersiellt tankerbolag att gå med på att leverera bränsle till detta pris vid en massiv tillämpning på civilt bruk, skulle alltså de negativa ekonomiska faktorerna med lufttankning försvinna helt.

6.3. Kommer flygsäkerheten vara en hindrande faktor vid ett införande av lufttankning på civilt flyg?

Resultaten från avsnitt *5.2* pekar på att det redan med befintlig teknik kan anses vara säkert att använda sig av lufttankning. Detta bekräftas av både undersökt olycksstatistik och intervjun med experten på området.

Detta innebär att det saknas grund för eventuella farhågor gällande säkerheten vid en implementation av lufttankning i civilt flyg. Till skillnad från vad som antogs i början av projektet är alltså inte säkerheten det största hindret vid ett eventuellt införande av lufttankning i det kommersiella flyget. Däremot finns det skillnader både i besättningens utbildning och flygplanens utrustning mellan den militära sektorn och den civila sektorn. Dessa skillnader kan ge upphov till mindre osäkerheter som måste lösas på vägen till en vedertagen standard. Den främsta skillnaden verkar ligga i kommersiella piloters oerfarenhet av att flyga nära andra flygplan, något som skulle kunna lösas genom extra utbildning och övningar på just detta.

För att utreda resultaten vidare, måste det nämnas att då denna studie utfördes på militärt flyg, kan det finnas svårigheter att få fram komplett olycksstatistik. Risken finns att det är ett antal olyckor som mörklagts, speciellt sådana som skett över fientligt luftrum eller i samband med spionuppdrag. Naturligtvis är militära flygplan utsatta för extrema förhållanden varför dessa eventuella mörkläggningar inte anses ha någon större betydelse vid en utvärdering av lufttanknings säkerhet för en civil applikation. De olyckor som ändå har rapporterats har nästan alla skett innan 1980-talet vilket är rimligt då lufttankning fortfarande var relativt nytt. Med alla nya tekniker följer en del barnsjukdomar men då det är nästan 60 år sedan lufttankning infördes i det militära är dessa sedan länge botade vilket är positivt för den kommersiella flygindustrin. Det kan hävdas att militära flygbesättningar har större skicklighet och mer erfarenhet av svåra situationer än civila besättningar, vilket är något som kan tänkas ha bidragit till det positiva resultatet. Detta tydliggjordes ytterligare under intervjun med flygkaptenen (se avsnitt 4.2.) vilken hade tidigare erfarenhet av både helikopterflyg och ubåtsjakt. Flygkaptenen var dessutom i slutet av sin karriär och hade först nu börjat flyga med lufttankning, det kan tänkas att en yngre pilot med mindre erfarenhet skulle haft en annorlunda inställning till säkerhetsfrågan.

De metoder som användes för att utreda säkerheten var statistisk analys och kvalitativ intervju. Som tidigare nämnts kan olycksstatistiken vara manipulerad av militären, vidare har endast olyckor av en flygplanstyp undersökts. En olycksanalys av andra flygplanstyper som tjänstgör i nationer förutom USA skulle kunna ha gjorts. Det är möjligt att andra trender hade observerats vid en sådan studie men då amerikas flygvapen är den överlägset största användaren av lufttankning anses dess statistik ändå ha störst betydelse i sammanhanget. Den kvalitativa intervju som genomfördes vid det svenska flygvapnet använde sig av öppna frågor vilket var bra då det framkom viss information som inte hade förutsetts innan intervjun. Att valet föll på att intervjua en svensk flygkapten berodde både på geografiska skäl och det faktum att det svenska flygvapnet nyligen börjat använda sig av lufttankning. Därmed fanns det anledning att tro att många av de frågor som denna studie var tänkt att svara på, redan hade utretts av

det svenska flygvapnet. Med facit i hand skulle det nog varit bra att ha utfört en kvalitativ intervju med en ansvarig person på Försvarets Materielverk då denna institution har ansvar att utvärdera samtliga nya tekniker som införs i det svenska försvaret.

Likt Nangias studie på införandet av civil lufttankning tyder resultatet på att det är lika säkert som reguljärt flyg i dagsläget. Då den studien rent geografiskt utgick från Storbritannien validerar det resultatet denna studies slutsatser ytterligare i och med att resultatet nu bygger på minst tre olika nationers olycksstatistik och erfarenheter. I Nangias studie anses det dessutom vara säkert att tanka nattetid och i mer utmanande väderförhållanden tack vare elektroniska hjälpmedel, detta är något som inte utretts vidare i denna rapport dock kan det nämnas att tankning i åskväder var helt uteslutet enligt resultatet från avsnitt *5.2*.
Att lufttankning är lika säkert som dagens kommersiella flyg är ett rimligt antagande baserat på de intervjuer och undersökningar som utförts. Denna studie är dock relativt ensidig i det att all information baseras på militära tillämpningar, givetvis finns lagkrav och certifieringar inom det kommersiella flyget som skulle behöva utredas för att kunna bedöma säkerheten ytterligare.

6.4. Vilken inverkan kommer lufttankning ha på tidsåtgången under flygning?

Det extra tidpålägg som tillkommer på grund av lufttankning under en kommersiell flygtur utan mellanlandning är 10-15 minuter. Detta framkommer av resultatet i avsnitt *5.3* i vilket tidsåtgången för lufttankning utvärderas, främst baserat på fakta från förstudien och kvalitativa intervjuer med experter på området.

I fallet med en flygtur där det i dagsläget sker en mellanlandning skulle ett införande av lufttankning bidra positivt till tidsåtgången. Resultaten visar att en förkortning av flygtiden med i genomsnitt 1,5 timmar är möjlig att uppnå genom att ersätta en mellanlandning med en lufttankning. Denna tidsbesparing kan ökas ytterligare på sträckor med fler mellanlandningar, i vissa fall som vid sträckan Göteborg-Orlando kan restiden minskas med 45 procent. Detta sker bland annat genom att lufttankning möjliggör flygningar direkt mellan platser som idag är bundna till flygbolagens hub-system.

Då det framkom i kvantitativa intervjuer med allmänheten (se avsnitt *5.4*) att det var positivt ifall restiden under en flygning kunde kortas ner, är det viktigt att inse att det inte går att motivera införande av lufttankning på sträckor utan mellanlandning med tidsåtgången som argument. Det ska dock beaktas att 10-15 minuter är lite i förhållande till hela flygtiden vilket innebär att detta resultat troligtvis heller inte är tillräckligt för att kunna användas som motargument till ett införande av lufttankning för kommersiellt bruk. Ser man till flygturer som innefattar mellanlandningar i dagsläget går det däremot att tala tidsåtgången som ett incitament för att använda sig av lufttankning. Tidsbesparingen som kan göras på flygturer med mellanlandningar är signifikant och skulle kunna bidra starkt till att öka allmänhetens acceptans för att flyga med lufttankning. Om man dessutom kan möjliggöra direktflyg på rutter som idag trafikeras av flygplan som tvingas flyga omvägar för att nå sin destination, kan restiden kortas ner väsentligt vilket kan väga upp de ekonomiska nackdelarna med lufttankning och dessutom skapa ett kraftigt incitament för speciellt personer som använder flyget som ett transportmedel vid affärsresor.

I denna studie har det antagits att tankerplanet flyger med längs mottagarplanets flygrutt och tankar i normala hastighets- och höjdförhållanden, därmed har endast tiden

det tar för de två flygplanen att docka med varandra räknats som tidpålägg. Tidpålägget är i sig en uppskattning baserad på den kvalitativa intervju som utfördes med flygkapten Mats Olsson. Då det finns skillnader mellan militärt och civilt flyg kan denna tidsuppskattning vara felaktig. Förenklingen att tankerplanet flyger med mottagarplanets rutt kan diskuteras eftersom tankningar i dagsläget inte sker på detta sätt. Vidare skulle tankerplanet antingen behöva vända efter tankningen är utförd eller landa på en annan flygbas än ursprungsbasen för att detta scenario skall vara genomförbart, det är dock möjligt att tankerplanet skulle kunna tanka ett annat plan på tillbakavägen vilket minskar felmarginalen. I beräkningarna på bränsleförbrukning och kostnader har tankerplanet antagits kunna tanka fler än två mottagarplan under sin rutt vilket kan bli svårt att genomföra baserat på de antaganden som gjorts. En mer realistisk uppskattning skulle vara att tankerplanet cirkulerar i en bestämd flygbana dit olika mottagarplan anländer efter varandra. Detta scenario innebär att tiden för själva tankningen och avvikelsen från ursprunglig flygrutt skulle behöva tas med i beräkningarna, om så vore fallet blir troligtvis inte tidsbesparingen jämfört med mellanlandning lika stor som i denna studie och tidpålägget för en flygrutt utan mellanlandning skulle bli än mer betydande.

Metoden har troligtvis haft en stor inverkan på resultaten gällande tidsåtgången, för stora förenklingar har troligtvis gjorts och endast militär expertis har intervjuats. Ifall kvalitativa intervjuer med experter inom den kommersiella flygsektorn hade utförts hade resultatet inte varit lika färgat av militärens åsikter. Även kommersiella lufttankningsföretag skulle troligtvis haft en del att tillföra gällande lufttankningens tidsåtgång.

Det finns ingen kännedom om liknande studier på just tidsåtgången vid en civil tillämpning av lufttankning vilket gör det svårt att relatera resultatet till andra undersökningar. Det kan sägas att tidsåtgången var en av de saker som hade lägst prioritet under projektets gång, det resultat som erhållits i detta stycke är därför relativt osäkert. Med facit i hand fanns det många andra vägar man hade kunnat gå vid utredningen av tidsåtgången, en utgångspunkt i dagens tankningsprocedurer hade troligtvis varit rimligare. Vid en fortsatt utredning av lufttankning för civilt bruk bör stort fokus läggas på de tidsbesparingar lufttankning kan medföra, detta kan tillsammans med bränslebesparing visa sig bli de viktigaste faktorerna som talar till lufttanknings fördel.

6.5. Kommer allmänheten acceptera idén om att flyga med lufttankning?

I avsnitt *5.4* kan man utläsa att det finns ett motstridigt resultat till huruvida allmänheten skulle komma att acceptera en kommersiell tillämpning av lufttankning. Detta resultat väger dock något tyngre åt att allmänheten är emot idén om lufttankning.

Gällande frågan om vilket incitament som hade störst efterfrågan hos passagerarna, var de ekonomiska faktorerna tydligt favoriserade. Det ska nämnas att miljöpåverkan hade, trots minoritet, ändå en stark betydelse för allmänheten.

Att resultatet inte var överhängande negativt gällande lufttankning måste kunna tolkas som positivt då det är normalt att ny teknik möter en del motstånd hos allmänheten. Det är vanligt att man väntar med att införa ny teknik på marknaden på grund av avsaknad av acceptans hos allmänheten, ett tydligt exempel är hybridfordon vilka existerade redan i bilindustrins begynnelse men inte kunnat lanseras på allvar förrän på 2000-talet. Det ska nämnas att även politiska faktorer ofta har en stor påverkan när det gäller att lansera ny teknik. Resultaten visade även på en avsaknad av koppling mellan rädsla för lufttankning och rädsla för att flyga generellt, vilket var förvånande. Detta skulle kunna tolkas som att lufttankning inte tillför någon ytterligare skrämselfaktor för de

som redan är flygrädda eller att det som tidigare inte varit rädda för att flyga nu skulle få en anledning att vara det. Men troligtvis är detta resultat en konsekvens av brist på kunskap inom området, då de flesta intervjuobjekten inte kände till tekniken alls eller endast hade sett någon fiktiv filmsekvens med lufttankning. Att de ekonomiska faktorerna var mest betydande var ett rimligt resultat även om detta skiljde sig åt en del mellan åldersgrupperna, detta gör att bränslereduktionen från avsnitt *5.1* får större betydelse än det ekonomiska slutsatserna från samma avsnitt. Om man ser till allmänhetens åsikt. Detta innebär alltså att det skulle vara svårt att motivera ett högre biljettpris för resenärerna genom att använda sig av argumentet, att införa lufttankning för att rädda miljön. Återigen skulle troligtvis statliga subventioner eller miljölagstiftningar kunna hjälpa till vid ett eventuellt införande av lufttankning. Det faktum att miljöpåverkan hade en stor betydelse för en del av resenärerna och att det optimala vore en kombination av miljömässiga och ekonomiska fördelar talar till lufttanknings fördel då lättade miljöskatter och liknande troligtvis skulle förbättra det ekonomiska resultat som erhållits i denna studie.

För att fånga allmänhetens åsikter verkade det rimligt att utföra intervjuer på en flygplats, där passagerarna troligtvis hade en viss kunskap om flyg i allmänhet. Då verktyget som användes var en kvantitativ intervju med förbestämda svar på frågorna, ägnades lite tid åt varje intervjuobjekt, det kan vara så att dessa personer fick för lite tid att sätta sig in i lufttankningstekniken och därför svarade tvekande till något som för dem verkat helt främmande. Detsamma gäller de ekonomiska eller miljöbaserade incitamenten, hade mer tid ägnats åt intressenterna kanske ett tydligare mönster mellan personernas bakgrund och deras svar hade observerats. För att en kvantitativ intervju skall kunna utnyttjas fullt ut gäller även att antalet intervjuobjekt är tillräckligt stort, då det endast utfördes intervjuer under en begränsad tidsperiod på en flygplats har troligtvis för liten del av marknaden tillfrågats, den potentiella felmarginalen är därför stor. I denna studie gjordes intervjuer baserade på ett begränsat urval, likväl utfördes intervjuerna tidigt i projektet vilket innebar att trovärdiga resultat på bränsleförbrukning och ekonomi saknades då intervjuerna utfördes. Många intressenter var skeptiska till de siffror som presenterades under intervjuerna vilka var hämtade från Nangias studie (2006). Detta bidrog nog till folks skepticism till lufttankningskonceptet.

6.6. Studiens begränsningar

Denna studie har endast behandlat befintlig teknik, ifall man skulle laborera med både passagerarflygplan och tankerflygplan optimerade för lufttankning skulle troligtvis bränslebesparingen bli ännu större. Då lufttankning är ett relativt outforskat koncept för civilt bruk har många antaganden fått göras, bränsleberäkningarna kan troligtvis utföras med större precision då ämnet utforskas ytterligare. På grund av tidsbrist innefattar studien ett begränsat antal flygsträckor. På dessa flygsträckor har övriga faktorer som påtvingade mellanlandningar, flygplatsavgifter, transport av bränsle och liknande frånsetts. Dessa flygsträckor är sträckor där man i dagsläget flyger direkt, ifall man undersökt rutter där man idag tvingas flyga omvägar och använt lufttankning som en möjliggörare att flyga direkt, hade troligtvis både tidsåtgången och kostnadsuppskattningen blivit mer fördelaktig för lufttankning. Relevanta intervjuobjekt var svåra att få tag på och det är möjligt att resultatet hade varit än mer förankrat i verkligheten ifall fler intervjuer utförts. En intervju med en kommersiell pilot hade troligtvis kunna bidra ytterligare till säkerhetsfrågan, speciellt då den kommersiella flygsidans syn är underrepresenterad i denna studie. Att studien dessutom är begränsad till befintlig teknik uteslöt i detta fall studier på helautomatisk lufttankning vilket är något som kommit långt i sin utveckling. Skulle man ta detta i åtanke vid en fortsatt studie skulle denna troligtvis uppvisa bättre siffror på både tidsåtgång och kostnadsuppskattningar, dessutom hade vetskapen om användandet av

helautomatisk lufttankning rimligtvis lugnat den oro inför lufttankning som upplevdes av flera utav intervjuobjekten vid intervjuerna på Landvetter.Till sist kan nämnas att man kunnat få ett mer mångsidigt synsätt ifall studien hade fokuserat mer på den civila flygsektorn utöver den militära.

7. Slutsatser

I detta kapitel sammanfattas de slutsatser som dragits under projektets gång.

- Resultaten från avsnittet *5.1* visar att ett införande av lufttankning kommer att medföra en bränslebesparing på samtliga flygsträckor som undersökts.

- Angående bränslebesparingens beroende av flygsträckans längd, visar resultaten att ju längre sträckan blir desto mer kan man spara genom användandet av lufttankning.

- Resultaten från avsnittet *5.1* visar att ett införande av lufttankning i den civila sektorn initialt kommer ha en negativ påverkan på flygbolagens kostnader. I diskussionen belyses dock en rad kringliggande faktorer som pekar på att den negativa påverkan kommer avta med tiden.

- Resultaten från avsnittet *5.2* pekar på att det redan med befintlig teknik anses vara säkert att använda sig av lufttankning. Detta bekräftas av både undersökt olycksstatistik och en intervjustudie med en expert på området.

- I avsnittet *5.3* kan man utläsa, att det extra tidpålägg som tillkommer på grund av lufttankning under en kommersiell flygtur utan mellanlandning är 10-15 minuter. I fallet med en flygtur där det i dagsläget sker en mellanlandning skulle ett införande av lufttankning teoretiskt kunna bidra med en tidsbesparing på ungefär 1.5 timmar per mellanlandning. Denna tidsbesparing kan ökas ytterligare på sträckor med fler mellanlandningar, i vissa fall som vid sträckan Göteborg-Orlando, kan restiden reduceras med 45 procent.

- I avsnitt *5.4* kan man utläsa att det finns ett motstridigt resultat till huruvida allmänheten skulle komma att acceptera en kommersiell tillämpning av lufttankning. Detta resultat väger dock något tyngre åt att allmänheten är emot idén om lufttankning.

- Vid utredningen av vilket som skulle skapa störst efterfrågan hos resenärerna, reducerad miljöpåverkan eller sänkta resekostnader, visade det sig att de ekonomiska faktorerna var tydligt favoriserade. Det ska nämnas att miljöpåverkan hade, trots minoritet, betydelse för allmänheten.

8. Källförteckning

Airport International – Heathrow 2008, *Gatwick Airport Landing Fees to Increase*, besökt den 9 februari 2012, <http://www.airport-int.com/news/heathrowgatwick-landing-fees-to-increase.html>

Asia Pacific airports move up the ranks in 2011, *with Beijing this year to overtake Atlanta – CAPA 2012*, besökt den 9 februari 2012, <http://www.centreforaviation.com/analysis/asia-pacific-airports-move-up-the-ranks-in-2011-with-beijing-this-year-to-overtake-atlanta-71801>

Boeing 2012, *737 family winglets* , Boeing commercial, besökt den 8 februari 2012 <http://www.boeing.com/commercial/737family/winglets/wing2.html>

Boeing 2012, *787 family,* Boeing commercial, besökt den 8 februari 2012 <http://www.boeing.com/commercial/787family/background.html>

Bolkom, C 2006, *Airforce aerial refueling methods-Flying boom versus Hose and drogue*, CRS Report for Congress, FAS, besökt den 15 april 2012, <http://www.fas.org/sgp/crs/weapons/RL32910.pdf>

Defense science board task force (DSBTF) 2004, Aerial refueling requirements, besökt den 20 april 2012, <http://www.fas.org/irp/agency/dod/dsb/aerial.pdf>

Erik Ljungar, HT 2008, *Intervjuteknik,* Entreprenörprogrammet Entreprenörskap: Ekonomi, kultur, struktur och samhälle, Södertörns Högskola, besökt 30 april 2012, <http://webappo.sh.se/C1256EE4003BCFE6/0/421F04E2D7F692C8C125751B004D4E90/$file/IntervjuteknikTE.pdf >

Eva-Lotta Sallnäs Ph.D, *Beteendevetenskaplig metod intervjuteknik och analys av intervjudata, Kungliga Tekniska Högskolan,* besökt 30 april 2012, <http://www.nada.kth.se/kurser/kth/2D1630/Intervjuteknik07.pdf >

FAS, 1997, *Air mobility Planning Factors*, Federation of American Scientists, besökt 17 april 2012, < http://www.fas.org/man/dod-101/usaf/docs/afpam10-1403.htm>.

Gertler, J 2009, *AirForce KC-X Tanker Aircraft Program: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, FAS, besökt den 24 mars 2012, <http://www.fas.org/sgp/crs/weapons/RL34398.pdf>

Hanlon, M 2006, '*World´s first hands-off autonomous air refueling engagement*', *Ålder*, 12 September 2006, besökt den 25 februari 2012, <http://www.gizmag.com/go/6144/>

Hansen, L & Murray, E & Campos, N 2005, *The NASA Dryden Flight Test Approach to an Aerial Refueling System*, NASA, besökt den 24 februari 2012, <http://www.mendeley.com/research/the-nasa-dryden-flight-test-approach-to-an-aerial-refueling-system/#page-1>

Hoctor, C 2009, 'KC135 and KC10 Losses' Appendix 5, besökt den 6 maj 2012, <http://airrefuelingarchive.files.wordpress.com/2011/01/2010-appendix-5.pdf >

How Much Fuel Does a 747 Jet Burn? 2011 –, eHow, besökt den 9 februari, <http://www.ehow.com/about_6171011_much-fuel-747-jet-burn_.html>

Ilan Kroo, 2006, *Aircraft Design: Synthesis and analysis,* version 1.2, besökt 27 april 2012, <http://www.ultraligero.net/Cursos/diseno/Diseno_de_aviones_sintesis_y_analisis.pdf>

Indexmundi, Indexmundi, besökt den 24 april 2012, <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=jet-fuel>

Joint air power competence center (JAPCC), 2011, *Air-to-air refueling flightplan – an assessment,* JAPCC, besökt den 20 april 2012, <http://www.japcc.de/fileadmin/user_upload/Reports/AAR_2011/Air_to_Air_Refuelling_Flight_Plan.pdf>

Kopp, C 2004, *KC-33A: Closing the Aerial Refuelling and Strategic Air Mobility Gaps*, Air Power Australia Analysis, ausairpower, besökt den 22 mars 2012, <http://www.ausairpower.net/APA-2005-02.pdf>

Nangia, R K 2006, *'Operations and aircraft design towards greener civil aviation using air-to-air refuelling'*, besökt den 9 februari, 2012, <http://www.greenerbydesign.org.uk/_FILES/publications/3088.pdf>

Popular Science, 1947, *Gas station in the Sky*, Google böcker, besökt den 15 april 2012, <http://books.google.se/books?id=KSYDAAAAMBAJ&printsec=frontcover&hl=sv&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>

Qantas Airways, 2012, Qantas Airways, Sydney, besökt 3 maj 2012, <http://www.qantas.com.au/travel/airlines/home/gb/en>

Range International – What does AR offer, besökt den 6 maj 2012, <http://www.range-unlimited.com/d/What does AR offer.pdf>

Seat61 2012,"*Co2 emissions and global warming: Planes vs Trains…*" besökt den 11 februari 2012, <http://www.seat61.com/CO2flights.htm>

Smith, R K 1998, *Seventy-five years of inflight refueling,* Air force history and museum program, besökt den 24 april 2012, <http://www.scribd.com/doc/50162009/Seventy-Five-Years-of-Inflight-Refueling-Highlights-1923-1998>

The department of defense 2007, Reducing its reliance on fossil-based aviation fuel – issues for congress, besökt den 16 april, <http://www.fas.org/sgp/crs/natsec/RL34062.pdf>

Transportstyrelsen 2008, *Flygtendenser nr 2 2008*, besökt den 29 april 2012, <http://www.transportstyrelsen.se/Global/Publikationer/Luftfart/Flygtendenser/Flygtendenser_2-08.pdf>

Transportstyrelsen, *Flygets miljöpåverkan 2010*, besökt den 10 februari 2012 <http://www.transportstyrelsen.se/sv/Luftfart/Miljo/Flygets-miljopaverkan>

Bilaga 1: Uppskattning av tankerflygplanens bränsleförbrukning

För att få en någorlunda realistisk siffra på den eventuella bränslebesparing lufttankning kan medföra, måste kostnaden för att operera de tankerflygplan som används, tas med i beräkningarna. Det amerikanska flygvapnet har en översiktstabell där bränsleförbrukningen för olika tankerflygplan, i pounds/timma, listas (FAS 1997, table 9). Med hjälp av denna tabell, samt en uppskattning av flygtiden per tankeruppdrag, kan bränsleåtgången uppskattas (Nangia 2006, p. 716). Vad som nu behövs är tankerkonfigurationen för de olika koncepten, vilken listas nedan.

För att konfigurationen ska bli så verklighetstrogen som möjligt görs en distinktion mellan de koncept som innefattar det mindre Boeing 737, vilket antas tankas av KC-135R, och de koncept som innefattar det större Boeing 777, där volymen bränsle som skall överföras kräver att ett tankerplan med stor kapacitet som KC-10 används (Boeing, 2012).

KC-135R Stratotanker

KC-135R tankar 5 stycken mottagarplan under sin tankrutt och avlastar 20 000 lbs per mottagarplan.
Bränsleförbrukning: 10 921 lbs/timma
Flygtid för tankeruppdrag:

- 30 min – Start
- 90 min – Tankning
- 30 min – Landning

150 min totalt

- Ger en total förbrukning på 27 302 lbs per tankeruppdrag
- Ger en bränsleförbrukning på 5460 lbs per mottagarplan

KC-10 Extender

KC-10 tankar 2 stycken mottagarplan under sin rutt och avlastar 100 000 lbs per mottagarplan.
Bränsleförbrukning: 17 755 lbs/timma
Flygtid för tankeruppdrag:

- 30 min – Start
- 40 min – Tankning
- 30 min – Landning

100 min totalt

- Ger en total förbrukning på 29 591 lbs per tankeruppdrag
- Ger en bränsleförbrukning på 14 796 lbs per mottagarplan

Resultat

Den extra bränsleförbrukning som uppstår på grund av tankerflygplanens operation är alltså knappt 5500 lbs bränsle per tankning för 737:an och knappt 14800 lbs per tankning för 777:an. Denna förbrukning kan nu läggas på den totala förbrukning som fås fram med hjälp av *Brequets Range equation*. Förutom den extra bränsleåtgången tillkommer också kostnader för besättning och logistik vilka tas upp i avsnittet *Tankerflygplan.*

Referenser:

FAS, 1997, *Air mobility Planning Factors*, Federation of American Scientists, viewed 17 April 2012,

< http://www.fas.org/man/dod-101/usaf/docs/afpam10-1403.htm>.
Nangia, R 2006, 'Operations and aircraft design towards greener civil aviation using air-to-air refuelling',*The Aeronautical Journal ,no. 3088*, pp. 705–726.

Boeing, 2012, *Technical Characteristics Boeing777*, Boeing Global, viewed 17 April 2012, <http://www.boeing.com/commercial/777family/pf/pf_300product.html>.

Bilaga 2: Flygrutter

London – New York

För sträckan mellan London och New York har två tankningsorter valts. Dessa har strategiskt valts på så sätt att det inte ska bli några längre avvikelser från dagens planerade flygrutter mellan dessa två destinationer, för att på så sätt få ett så jämförbart resultat som möjligt.

En av dessa baser heter Keflavíks Internationella flygplats och är lokaliserat på den sydvästra delen av Island, där många av dessa flyg åker över. Här finns även Naval Air Station Keflavik som tidigare var en amerikansk militärbas.

Enligt NATO slutade amerikanska militärbasen sin aktivitet under 2006 men basen är fortfarande aktiv med operationer tillsammans med bland annat olika NATO-länder (Allied Command Operations, 2012).

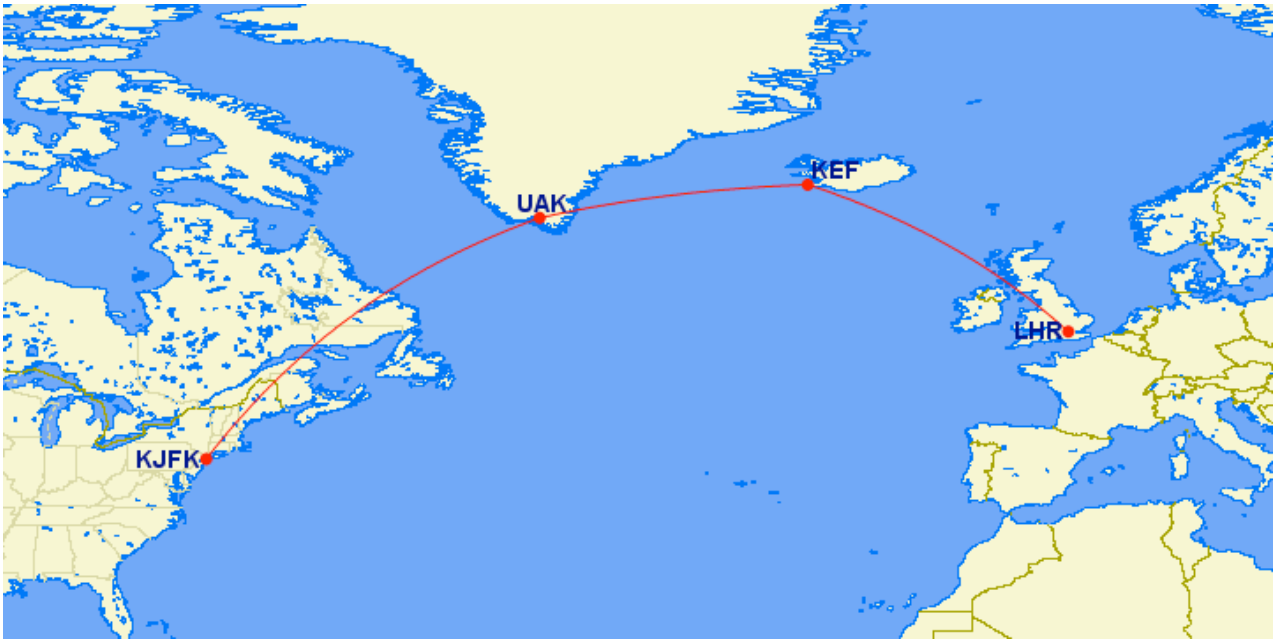
En annan möjlig anläggning som valdes var Narsarsuaq flygplats i sydvästra Grönland. Denna flygplats är en av två flygplatser i Grönland som kan ta emot stora flygplan men är också den enda internationella flygplatsen i södra Grönland

Avstånd: 3289 nm = 6090 km

Tidsåtgång: 6:44 vid 0,85 mach, 7:21 vid 0,78

Avstånd från London:

1. Keflavík (Island) 1899 km
2. Narsarsuaq (Grönland) 3106 km



London – Sydney och London – Singapore

För sträckan London – Sydney och London – Singapore har ett flertal olika alternativ valts som möjliga baser. Dessa har valts på så sätt att de ska följa den ursprungliga rutten och ej resultera i någon större avvikelse jämfört med en resa utan lufttankning. Det har heller inte gjorts någon större studie kring själva baserna, då det erbjuds många alternativ förutom de baser som har valts. Skulle någon av dessa baser visa sig vara inkompatibel med detta koncept, kan en annan närliggande ort användas.

London – Sydney

Avstånd: 9188 nm =17016 km

Tidsåtgång: 18:50 vid mach 0,85, 20:31 vid 0,78

Avstånd från London:

1. Riga (Lettland) 1695 km
2. Kazan (Ryssland) 3257 km
3. Astana (Kazakhstan) 4812 km
4. Urumqi (Kina) 6248 km
5. Chongqing (Kina) 8555 km
6. Hong Kong 9647 km
7. Puerto Princesa (Filipinerna) 11090 km
8. Manado (Indonesien) 12221 km
9. Darwin (Australien) 13872 km

London – Singapore

Avstånd: 5879 nm = 10888 km

Tidsåtgång: 12:03 vid 0,85 mach, 13:08 vid 0,78

Avstånd från London:

1. Berlin (Tyskland) 950 km
2. Kiev (Ukraina)2192 km
3. Volgograd (Ryssland) 3167 km
4. Buxoro (Uzbekistan) 5052 km
5. Jalalabad (Afghanistan)5844 km
6. New Delhi (Indien) 6744 km
7. Calcutta (Indien) 7997 km
8. Port Blair (Indien) 9224 km

Referenser

ACO – Allied Command Operations, besökt den 23 April 2012, <http://www.aco.nato.int/page142085426.aspx>
GCMAP – Great Circle Mapper besökt den 02 Maj 2012, <http://www.gcmap.com>

Bilaga 3: Flygplansmodeller

För att kunna genomföra realistiska beräkningar på de koncept som skall utvärderas, behövs specifikationer på flygplanstyperna som används. För att underlätta konceptutvärderingsprocessen ytterligare begränsas urvalet av flygplanstyper till Boeing 737-800, Boeing 777-300ER och Airbus A380-800, vilka var och en representerar en storleksklass för kommersiella flygplan.

Boeing 737-800

Boeing 737-800 är det mest framgångsrika flygplanet i nästa generations 737-serie och har flest enheter ute på marknaden idag. Den är känd för att vara pålitlig, bränsleeffektiv och att ha god ekonomisk prestanda. Dessa egenskaper gör 737-800 till ett populärt val bland operatörer världen över. Detta flygplan tillhör den grupp flygplansmodeller som har en mittgång och en kapacitet på 162-189 passagerare. I sitt marknadssegment är den i topp med en bränsleförbrukning är 7 % lägre än närmsta konkurrenten, samt har en räckvidd som sträcker sig 260 nautiska mil längre. Nya 737-familjen, också kallad ”The Next-Generation 737” är det första kommersiella trafikflygplan som har blivit certifierat för ”System Ground Positioning”, Detta flygsystem använder en satellitbaserad teknologi som gör landningarna mer precisa, effektiva, miljövänligt och framförallt säkra.

På Boeings hemsida (2012) kan man läsa om flygplanets tekniska specifikationer där Boeing 737-800 tillhör marknadssegmentet av medelstora flygplan, vars maximala antal passagerare ligger på 189 personer. Planets bränsletank har en maximal kapacitet på ca 6 875 USG, vilket motsvarar 26 020 liter. Den högsta tillåtna vikten vid start ligger på 174 200 lbs (79 010kg). Längsta möjliga flygsträcka är 3 115 nautical miles (5 765km), vilket ger den största räckvidden i sin klass. Dess medelhastighet vid långflygning (exklusiv start och landning) är på 0,785 Mach.

Boeing 777-300ER

Även här kan man utläsa en hel del information på Boeings hemsida om Boeings 777-serie, bland annat att den är den absolut största i dess familj. Det finns sex olika modeller i serien där dem varierar i två olika kategorier - antalet passagerare och räckvidd. Dessa flygplan är konstruerade för att kunna förflytta sig långa sträckor tack vare sin effektiva bränsleförbrukning, pålitlighet och storlek. Modellen 777-300ER är det dominerande kommersiella flygplanet när det gäller transportsträckan, och har blivit utsett till årets plan av flera publikationer. och Likadant som den mindre 737-serien är 777-serien världsledande på sin del av marknadssegmentet

Boeing 777-300ER tillhör i kategorin av dem större kommersiella flygplanen som finns ute på marknaden idag, där det maximala antalet passagerare ligger på 405 personer. Planets bränsletank har en maximal kapacitet på ca 47 890 USG, vilket motsvarar 181 280 liter. Den högsta tillåtna vikten vid start är på 775 000 lbs (351 530kg). Längsta möjliga flygsträcka är 7 930 nautical miles (14 685 km), vilket ger den största

räckvidden i sin klass. Dess medelhastighet vid långflygning (exklusive start och landning) är på 0, 84 Mach.

Airbus A380-800

Den tredje och sista flygplansmodellen som har valts för denna studie är inte bara Airbus största modell, utan världens störta kommersiella flygplan. A380, som togs i bruk år 2007, är världens första heldubbeldeckare för flygplan och tack vare sin stora golvyta så kan flygplanet ta upp emot maximalt 853 passagerare. Den maximala bränslekapaciteten är på 84 600 USG (320 000 liter) och den maximalt högst tillåtna startvikt är på 1 235 000 lbs (560 000 kg). På grund av sin enorma vikt kräver A380 en mycket lång landningsbana för att starta, vilket innebär att enbart större flygplatser kan ta emot flygplanet. Den maximala flygsträckan är cirka 8 300 nautical miles (15 400 km) vilket möjliggör A380 att flyga mycket långa sträckor.

Referenser

Boeing: Commercial Airplanes – 737-800 Technical Specs, besökt den 18 april 2012, <http://www.boeing.com/commercial/737family/pf/pf_800tech.html>

Boeing: Commercial Airplanes – 777 Background Home, besökt den 18 april 2012, <http://www.boeing.com/commercial/777family/pf/pf_lrproduct.html>

Dimensions and key data, Airbus, besökt 18 april 2012, http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/a380-800/specifications

Bilaga 4: Intervjumall för halvkvantitativ intervju

1. Man ☐ Kvinna ☐ Ålder: _____

2. Är du flygrädd?

   Jag är inte flygrädd alls — Jag kommer aldrig sätta mig i ett flygplan

   1 2 3 4 5

3. Skulle vi införa lufttankning skulle det medföra billigare biljetter och minska flygets miljöpåverkan. Är detta några incitament som skulle övertyga er om att flyga med plan som lufttankas?

   Jag har inga problem med lufttankning — Jag kan aldrig föreställa mig att flyga med ett flygplan som lufttankas

   1 2 3 4 5

   Varför?

   ---

4. Vilka fördelar väger mest i lufttankning?

   Miljö
   Ekonomi
   Båda är lika viktiga