

FOSSILFRI FLYGTRAFIK?

Underlagsrapport till utredningen om fossiloberoende fordonsflotta, N 2012:05

Version 1 för extern publicering 2013-05-07



Arne Karyd
0708-192234
Arne.Karyd@swipnet.se

INNEHÅLL

1	SAMMANFATTNING	1
2	BAKGRUND	3
3	FLYGETS UTVECKLING	4
3.1	INRIKESFLYG	4
3.2	UTRIKESFLYG	6
3.3	RESENÄRSKATEGORIER OCH BELÄGGNINGSGRADER	7
4	FLYGPLANSFLOTTA 2013 OCH 2030	9
4.1	SAMMANSÄTTNING	9
4.2	TEKNISK UTVECKLING TILL 2030	11
4.3	FRAMTIDA FLYGPLANSBEHOV OCH ORDERLÄGE	11
4.3.1	<i>Tillverkare och segment</i>	11
4.3.2	<i>Tillverkarnas marknadsbedömningar</i>	12
4.3.3	<i>Airbus' prognos för de nordiska länderna</i>	15
4.4	BRÄNSLEÅTGÅNGENS UTVECKLING	16
4.5	SLUTSATSER OM FLYGPLANSFLOTTAN 2030	17
5	FLYGBRÄNSLEN NU OCH I FRAMTIDEN	19
5.1	BRÄNSLEKEMI OCH VERKNINGSGRAD	19
5.2	MOTORNS OCH FLYGPLANETS KRAV PÅ BRÄNSLET	20
5.2.1	<i>Biobaserade bränslen</i>	21
5.2.2	<i>Alkoholer</i>	22
5.2.3	<i>Vätgas</i>	23
5.3	AKTIVITETER PÅ INTERNATIONELL NIVÅ	23
5.3.1	<i>International Air Transport Association</i>	24
5.3.2	<i>Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe</i>	26
5.3.3	<i>Air Transport Action Group</i>	27
6	BRÄNSLEPRODUKTION OCH POTENTIAL	28
6.1	LEVERANSER	28
6.2	TRADITIONELL RAFFINADERIPRODUKTION	30
6.3	KONVERTERINGSPROCESSER	30
6.4	TILLVERKNINGSPOTENTIAL	31
6.5	DEMONSTRATIONSPROJEKT	32
6.6	SLUTSATSER ANGÅENDE ALTERNATIVA BRÄNSLEN	34
6.7	PROGNOS FÖR BRÄNSLELEVERANSER	35
7	ANDRA KLIMATGASER	36
8	STYRMEDEL	39
8.1	TIDIGARE SVENSKA ERFARENHETER	39
8.2	UTLÄNDSKA ERFARENHETER	39
8.3	FLYGET I EU:S HANDEL MED UTSLÄPPSRÄTTER	41
8.4	BRÄNSLESKATTER	42
8.5	CRCO-BASERAD AVGIFT	43
8.6	INFRASTRUKTURAVGIFTER	44
8.7	FLYGSKATTER OCH HÖJD MOMS	44
8.7.1	<i>Inrikesalternativ</i>	45
8.7.2	<i>EU-alternativ</i>	45
8.7.3	<i>Utanför-EU - alternativ</i>	46
8.7.4	<i>Även-transfer - alternativ</i>	46

8.7.5	Skattens relation till utsläpp och bränslepriser.....	47
8.7.6	Andra studier	47
8.7.7	Effekter av höjd momssats/momsbeläggning	47
8.8	SLUTSATSER OM FLYGSKATTER	48
9	TRAFIK OCH KOSTNADER PÅ NÅGRA LINJER	49
9.1	SKÅNE	49
9.1.1	Kristianstad	49
9.1.2	Malmö-Sturup.....	50
9.1.3	Ängelholm-Helsingborg	51
9.2	LANDVETTER.....	51
9.3	KOSTNADER STOCKHOLM-GÖTEBORG.....	52
10	LUFTRUMSFRÅGOR	55
11	KÄLLFÖRTECKNING	57
12	BILAGA: BRÄNSLESPECIFIKATIONER	61
12.1	BP JET A-1.....	61
12.2	OROBOROS ECO FLY.....	62

FIGURER OCH TABELLER

FIGUR 1	INRIKESFLYGETS UTVECKLING 1957-2012	4
FIGUR 2	TRAFIKVERKETS PROGNOSE FÖR INRIKESFLYG.....	5
FIGUR 3	TRAFIKVERKETS TEN-PROGNOSE FÖR UTRIKESFLYG	6
FIGUR 4	TRAFIKHISTORIK OCH PROGNOSE FÖR DE TRE STÖRSTA LÅGPRISFLYGPLATSERNA	7
FIGUR 5	MARGINAL (€ CENT) PER PASSAGERARKILOMETER FÖR OLIKA FLYGBOLAGSKATEGORIER.....	7
FIGUR 6	GROV KATEGORIUPPDELNING TILL INRIKES DESTINATIONER 2012	8
FIGUR 7	NUVARANDE FLYGPLANSTYPERS ANVÄNDNING 2030	10
FIGUR 8	VINGSPETSFENOR.....	11
FIGUR 9	AIRBUS' FLYGPLANSPROGNOSE FÖR PERIODEN 2013 - 2031	12
FIGUR 10	BOEINGS FLYGPLANSPROGNOSE FÖR PERIODEN 2013-2031.....	13
FIGUR 11	BOMBARDIERS, EMBRAERS RESP. ATR:S PROGNOSE	14
FIGUR 12	STORLEK OCH BRÄNSLEÅTGÅNG FÖR SAS' FLYGPLANSTYPER	16
FIGUR 13	MEDELSTOR JETMOTOR, CFM 56-7B, OCH PRINCIPSKISS	20
FIGUR 14	PRINCIPSKISS FÖR TURBOPROPMOTOR	21
FIGUR 15	VÄTGAS SOM BRÄNSLE FÅR DRAMATISKA EFFEKTER PÅ AERODYNAMIKEN.....	23
FIGUR 16	IATA:S MÅL 2009-2020.....	24
FIGUR 17	JETMOTOR MED VÄXLAD FLÄKT, UTANPÅLIGGANDE FLÄKTAR OCH "ADVANCED" UTFORMNING	24
FIGUR 18	IATA:S MÅL 2021-2050.....	24
FIGUR 19	"BLENDED WING BODY" FRÅN AIRBUS RESP. BOEING	25
FIGUR 20	EADS' ÖVERLJUDSFLYGPLAN ZEHST	25
FIGUR 21	ACARE:S VISION 2001	26
FIGUR 22	ATAG:S UTSLÄPPSPROGNOSE	27
FIGUR 23	LEVERANSER AV FLYGBRÄNSLE	28
FIGUR 24	TRADITIONELL PRODUKTIONSKEDJA	30
FIGUR 25	BTL-PROCESS.....	31
FIGUR 26	BIOBRÄNSLEN, KAPACITET OCH PRODUKTION I EU27, KILOTON/ÅR.....	32
FIGUR 27	ENERGIÅTGÅNG FÖR TRANSPORTER I EU27.....	32
FIGUR 28	UPPRÄKNINGSFAKTORER INKLUSIVE FLYGPLANSINDUCERADE CIRRUSMOLN	38
FIGUR 29	EU-MÅL OCH NATIONELLA MÅL FÖR TIO LÄNDER	40
FIGUR 30	METODER ATT MINSKA TRANSPORTERNAS KOLINNEHÅLL + STYRMEDEL	40
FIGUR 31	CHICAGOKONVENTIONENS ARTIKEL 24.....	43
FIGUR 32	FÖRSTADESTINATIONER 2011	45

FIGUR 33 INRIKESPASSAGERARE PÅ KRISTIANSTAD	49
FIGUR 34 INRIKESPASSAGERARE PÅ STURUP OCH STOCKHOLM-MALMÖ	50
FIGUR 35 INRIKESPASSAGERARE PÅ STURUP OCH STOCKHOLM-MALMÖ	51
FIGUR 36 INRIKESPASSAGERARE PÅ LANDVETTER OCH STOCKHOLM-GÖTEBORG	52
FIGUR 37 KOSTNADSUTVECKLING STO-GOT BOEING 737-600	54
FIGUR 38 NUAC:S LUFTRUM.....	55
TABELL 1 FLYGPLANSTYPER 2013 (JANUARI) OCH 2030	10
TABELL 2 SAMMANFATTNING AV OLIKA PROGNOSEER.....	14
TABELL 3 AIRBUS' OCH BOEINGS ORDERSTOCKAR 2013-04-30.....	15
TABELL 4 DATA FÖR MALMÖ AVIATIONS FLYGPLANSTYPER	17
TABELL 5 EGENSKAPER HOS RAPSBASERADE BRÄNSLEN.....	21
TABELL 6 BRÄNSLEÅTGÅNG I OLIKA FLYGVERKSAMHETER	29
TABELL 7 UTSLÄPP 2010 OCH 2011	36
TABELL 8 FLYGSKATTER I OLIKA LÄNDER 2012	41
TABELL 9 ANALYSERADE SKATTESATSER.....	44
TABELL 10 MODELLBERÄKNADE KOSTNADER ARLANDA-LANDVETTER, B737-800	53

Omslaget visar till vänster Boeing 707 och till höger Boeing 787. Datum för första flygning skiljer 52 år mellan dessa (1957 resp. 2009) Trots detta är den grundläggande konstruktionen förvånansvärt lite förändrad. I slutet av 1950-talet hade Boeing och andra tillverkare utvecklat grunddragen i utformningen av ett effektivt jetdrivet trafikflygplan och dessa har inte ändrats nämnvärt sedan dess. Det är därför inte troligt att några radikalt annorlunda konstruktioner kommer att lanseras under de närmaste årtiondena och även om så blir fallet kommer de inte att utgöra någon nämnvärd del av flygplansflottan ens år 2050. Bilderna hämtade från Boeings hemsida.

1 SAMMANFATTNING

- ✚ Inrikesflyget har sedan 1991 varierat kring en ungefärlig nolltillväxt. Passagerarantalet år 2012 var 7,057 miljoner, två procent lägre än 1991 men den genomsnittliga reslängden har ökat. Transportarbetet var därför 5 procent högre och uppgick 2012 till 3,396 miljarder personkilometer, motsvarande 29 procent av järnvägstrafikens.
- ✚ I Trafikverkets nya prognos för inrikesflyg (som har ersatt Kapacitetsutredningens prognos från 2012) ökar transportarbetet, i mittenalternativet, med ca 13 % till 2030. När det gäller bränsleåtgång bedöms denna ökning i stort sett bli uppvägd av teknisk förbättring. Bränslebehovet för inrikesflyg bedöms därmed bli ca 220 000 m³ (2,1 TWh) år 2030. Gissningsvis gäller ungefär samma förhållanden till 2050, dvs. bränsleåtgången stagnerar på ungefär nuvarande nivå. Bränsleåtgången per personkilometer 2012 var 0,062 liter (0,59 kWh) vilket är långt bättre än trafik med höghastighetsfärjor och står sig väl gentemot biltrafik men naturligtvis inte mot tågtrafik.
- ✚ Utrikesflyget har vuxit trendmässigt under mycket lång tid. 2012 var antalet passagerare 23,65 miljoner, nära 2,9 gånger större än 1991. Trafikverket har inte någon fastställd prognos för utrikesflyg men utarbetar för närvarande en sådan. I prognosutkastet ökar antalet passagerare med 48 % till 35 miljoner år 2030. Prognos för 2050 saknas. Den tekniska utvecklingen håller inte jämna steg utan kan på sin höjd reducera specifik bränsleåtgång med 20 % till 2030. Givet att allt annat förblir lika ökar därmed bränsleåtgången (den del som tankas i Sverige) till ca 1,25 miljoner m³ (12 TWh) med den avgränsning som Energimyndigheten tillämpar.
- ✚ Inom den svenska vägtrafiken uppgick andelen förnybara bränslen till 8,1 % år 2012 beräknat på Energimyndighetens värmevärden. Inom EU 27 behöver biobränsleproduktionen öka mer än 20-faldigt för att täcka nuvarande förbrukning enbart för landtransporter. Det finns inget förnybart bränsle vars enda användning är som flygbränsle. Allt bränsle som är användbart för flyg kan också användas i dieselmotorer. Däremot gäller inte det omvända. Av en mängd skäl kan bara en liten del av de förnybara bränslen som kan användas för landtransport och sjöfart användas även inom flyget. Det gäller främst HVO-oljor.
- ✚ Användning av förnybara bränslen i flyg ger i bästa fall samma miljöeffekt som användning i mark- och sjötransporter. För utrikes flyg på längre avstånd kan effekten bli lägre om bränslets specifika väteinnehåll är högre än för traditionellt flygbränsle. Detta beror på att vätets förbränningsprodukt vattenånga på hög höjd har en klimateffekt vilket normalt beskrivs med en uppräkningsfaktor för utsläpp av koldioxid, trots att denna i sig inte har någon höjdeffekt. Uppräkningsfaktorn storlek är mycket omdiskuterad; rapporten redovisar några olika ansatser. Uppräkningsfaktorn ska inte tillämpas på inrikesflyg eftersom planen på dessa rutter inte når tillräcklig höjd. Vattenången är ett av skälen till att vätgas inte har någon potential alls i flyg.
- ✚ Så länge tillgången på biomassa begränsar produktionen av biobränslen finns därför ingen anledning att använda biobaserade bränslen i flyg. Varje sådan användning undantränger en minst lika effektiv användning på marken eller till sjöss. Flygbranschen anser sig dock, med visst berättigande, vara orättvist behandlad i politik och massmedia och lägger därför stora resurser på provflygningar med partiell användning av biobränsle. Effekten av dessa ansträngningar är huvudsakligen PR-mässig; man visar att man gör något.
- ✚ Flygplansflottan år 2030 kommer till mer än 95 % att bestå av flygplan som redan flyger, är i produktion eller är på ritborden år 2013. Flera av de flygplanstyper som nu är i produktion kommer fortfarande att produceras även år 2050 och även detta år kommer framdrivningen att ske med jet- och turbopropmotorer inte alltför olika dagens. Flygplanstillverkarna tenderar att överdriva potentialen i framtida teknisk utveckling. Det finns ett stort antal tekniska utvecklingsspår men i många fall saknas de drivkrafter som skulle kunna leda utvecklingen in på dessa spår, t.ex. stigande bränslepriser eller märkbara utsläppsavgifter.
- ✚ Flygplansflottan år 2030 och 2050 kommer inte att vara fossiloberoende. Eftersom det i vart fall till 2030 saknas en stark anledning att använda någon del av den begränsade tillgången på hållbara

bränslen för flyget måste branschen ta sitt miljöansvar genom ekonomiska styrmedel, dvs. i praktiken betala andra sektorer för att genomföra ytterligare utsläppsminskningar de annars inte skulle ha gjort. EU:s handel med utsläppsrätter har hittills visat sig vara föga effektivt i detta avseende; priset ligger f.n. nära noll.

- ✚ Det går att utforma andra ekonomiska styrmedel med god effekt. Mest effektivt är en koldioxidavgift på bränslet. Enligt en i branschen allmänt spridd uppfattning strider en sådan mot 1944 års Chicagokonvention men denna åsikt bör inte tas för given. Oavsett vilket finns goda möjligheter att konstruera andra styrmedel med nästan lika god effekt. Man kan t.ex. använda systemet för undervägsavgifter vilket skulle ge nästintill samma avgiftsbelastning som en koldioxidavgift på bränslet. Det finns flera tänkbara näst-bästa – lösningar. Hittillsvarande försök som den svenska inrikes "miljökatten" 1988 – 1996 och i valrörelserna framförda förslag på "flygskatter" har dock varit primitiva med svag eller obefintlig koppling till verkliga utsläpp.
- ✚ Utomlands förekommer olika varianter på flygskatter, dock i ganska liten utsträckning och med låga belopp. Ett undantag är de brittiska flygskatterna. Ett grundkrav på en någotsånär effektiv flygskatt är att den åtminstone grovt samvarierar med verkliga utsläpp, dvs. den måste vara sträckberoende. Det går dock inte att enbart i Sverige ta ut alltför höga avgifter/skatter på långa utrikesresor eftersom man då driver över resenärer från direktlinjer till linjer med byte utomlands vilket inte är miljömässigt önskvärt.
- ✚ De diskuterade höghastighetsjärnvägarna Stockholm-Jönköping-Malmö och Jönköping-Göteborg berör ca 40 % av inrikesflygets transportarbete. Det gäller flyglinjerna mellan Stockholm och Jönköping, Göteborg och Skåne (Ängelholm-Helsingborg, Malmö och Kristianstad) . Överföringspotentialen är dock långt mindre, på sin höjd 15 % (0,5 miljarder passagerarkm). Detta beror bland annat på att en stor del av flygpassagerarna ska transferera på Bromma eller Arlanda, att priset många gånger är påtagligt lägre i flyget, att punktligheten är bättre och inte minst på att flygresenärernas "hastighetselasticitet" när X2000 sänkte restiderna dramatiskt på 1990-talet visade sig vara noll. Berörda flyglinjer har till och med utvecklats bättre än riksgenomsnittet. Vissa flyglinjer skulle dessutom gynnas, däribland de från Stockholm till Trollhättan-Vänersborg, Växjö och Kristianstad eftersom tågalternativet hamnar på betydligt större avstånd från centralorten. Vill man flytta flygresenärer till tåg är sänkta priser med all sannolikhet mycket effektivare än höjd topphastighet.

2 BAKGRUND

Utredningen om fossilfri fordonstrafik (N 2012:05) har i uppdrag att redovisa hur den svenska fordonsflottan ska bli fossiloberoende till år 2030 och i stort sett fossilfri 2050. Utredningens fokus ligger främst på vägtrafikens klimatanpassning men uppdraget omfattar utsläpp från i princip samtliga transportslag. Trots att utredningens fokus i huvudsak ligger på vägtrafikens utsläpp behöver den belysa vad som kan göras för att reducera emissionerna från flyget, eftersom det har betydelse för efterfrågan på alternativa bränslen och för konkurrensen om dessa resurser. Kunskaper om flygets villkor är dessutom nödvändiga för en bedömning av åtgärder och styrmedel som leder till att resenärer byter transportslag. Uppdraget omfattar följande moment:

1. Redovisa utvecklingen inom inrikes resande med flyg 1970-2010, om möjligt med resandet fördelat på Stockholm-Göteborg, Stockholm-Skåne och övriga inrikes relationer. Dessutom en bedömning av trafikens nuvarande ungefärliga fördelning på tjänste- och privatresor. CO₂-utsläppen från inrikesflyg ska redovisas för åren 1990-2010 (eller senare om data finns). Prognos/prognoser för inrikesflygets utveckling ska redovisas.
2. Redovisa en nulägesbedömning av kostnader och genomsnittspriser för flyg och tåg på sträckor där trafikslagen konkurrerar eller där snabbare tåg kan skapa en framtida konkurrensytta. Om denna del av arbetsuppgiften visar sig vara tidskrävande ska kontakt tas med beställaren. I sammanhanget vore det också värdefullt att få en bedömning av i vilken utsträckning flyget täcker sina kostnader i dessa relationer. Det handlar då främst om eventuella subventioner av flygplats- och flygledningskostnader samt om ansvar för utsläpp av NO_x.
3. Redovisa kort information om inkluderandet av flygets utsläpp i EU ETS samt om befintliga flygskatter inom EU²⁷, som delvis bör kunna hämtas från CE Delfts nyutgivna rapport.¹
4. Redovisa försäljning i Sverige av utrikes bunker 1990-2010 med information om relaterade emissioner samt en bedömning av utvecklingen i detta avseende under de närmaste tio åren. I sammanhanget bör också frågan diskuteras om det kan vara så att bunkerstatistiken underskattar klimategen effekten av svenskarnas utlandsresor genom att det inte finns något nav för långdistansflyg i Sverige. Om data finns lätt tillgängliga ska huvuddestinationer för svenska utrikesresenärer och viktiga hemländer för besökande utlänningar redovisas liksom en ungefärlig bedömning av resandets fördelning på tjänste- och privatresor.
5. Redovisa en kortfattad bedömning av den trolig teknisk utvecklingen och energieffektiviseringen av passagerarflygplan som kan bli aktuella i inrikes respektive utrikes trafik. Hur snart och i vilken omfattning kan nya flygbränslen bli aktuella. En utgångspunkt kan här vara IEA:s nya rapport men även andra bedömningar kan inhämtas.
6. Redovisa en kort sammanfattning av kunskapsläget beträffande andra klimatgaser än CO₂ från flyget.

I denna textversion har synpunkter på föregående version från Jonas Åkerman 2013-03-12 inkluderats, i stort sett i sin helhet, och avsnitt 7 om andra klimatgaser än koldioxid har reviderats efter ytterligare synpunkter från Christian Azar. Bertil Carlsson, f.d. produktionschef på Preems raffinaderi i Göteborg, har bidragit med bland annat erfarenheterna av rapsmetylester och tallolja i dieselbränsle. Författaren tackar för kommentarerna och ansvarar ensam för kvarstående felaktigheter. Ett stort tack också till Christina Berlin, Håkan Brobeck och Helen Axelsson på Transportstyrelsen för hjälp med statistik och Madeleine Kamlin på Albion Translations för språk- och redigeringsgranskning.

¹ CE Delft (2012 a).

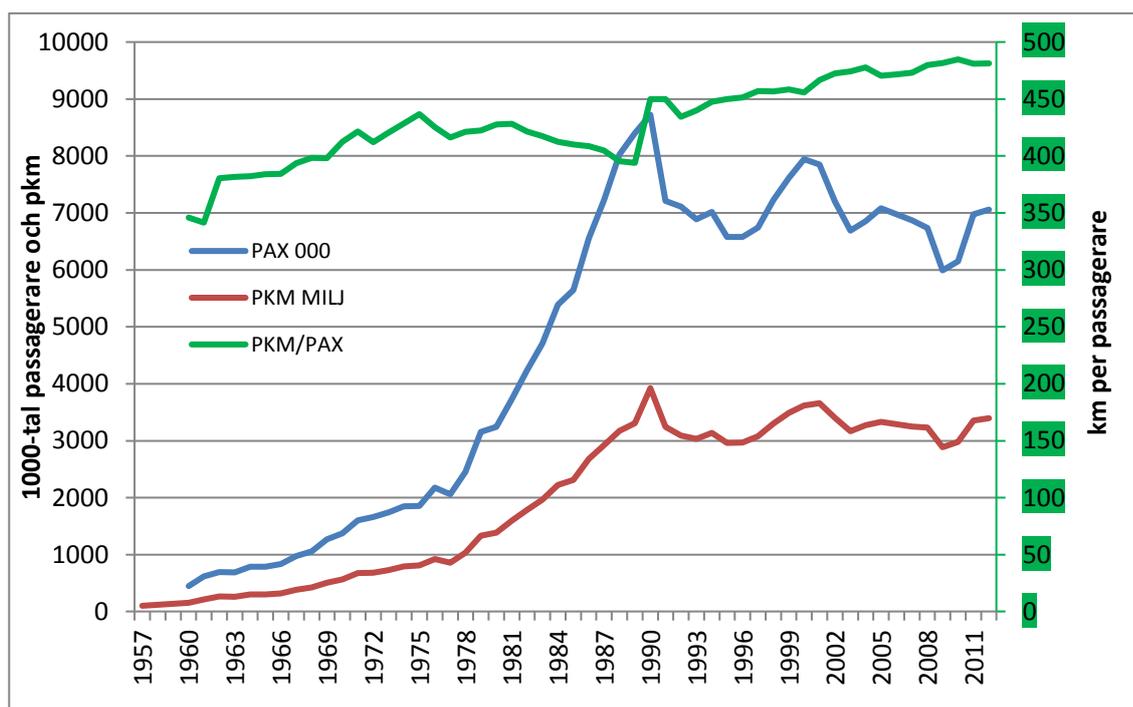
3 FLYGETS UTVECKLING

Utrikesflyg kom igång redan på 1920-talet men då med sjöflygplan. Torslanda i Göteborg öppnade 1923 som en kombinerad sjö- och landflygplats. Något mätbart inrikesflyg förekom knappast före 1957 då Linjeflyg AB uppkom ur ett tidigare tidningstransportbolag, Airtaco.

Den sammanlagda flygtrafiken år 2030 beräknas bli 35 miljoner utrikes passagerare och 7,5 miljoner inrikes *avresande* passagerare. Då de senare även landar i Sverige blir den totala belastningen på flygplatsnivå 50 miljoner passagerare enligt prognosen.

3.1 Inrikesflyg

Mätt i såväl passagerare som personkilometer ökade inrikesflyget nästan oavbrutet till en toppnivå 1990 med 8,72 miljoner passagerare och 3,92 miljarder personkilometer. Dessa nivåer har sedan dess aldrig uppnåtts igen. Antalet personkilometer per passagerare, dvs. flygningens längd mätt på individnivå, har ökat svagt men trendmässigt från 346 km 1960 till 481 km år 2011. Inrikesnätet är av utpräglad nav-eker – karaktär vilket innebär att nästan alla resenärer (97,2 % år 2012) passerar Arlanda. Av dessa är ca 35-40 % transferresenärer som fortsätter med anslutande flyg. Den genomsnittliga *flygresan* är därför betydligt längre och uppgick enligt osäkra data från resvaneundersökningen 2005-2006 till cirka 640 km. Detta antyder i sin tur att andelen inrikes transferresenärer vid denna tidpunkt var nära 40 %.



Figur 1 Inrikesflygets utveckling 1957-2012

Källa: bearbetning av statistik från LfV och Transportstyrelsen. Pax = passagerare, pkm = personkilometer.

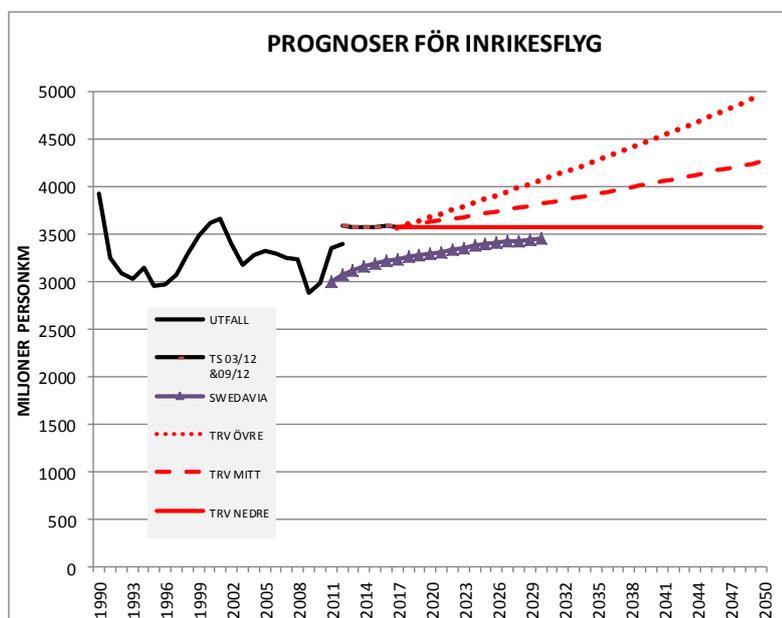
I fortsättningen används data för transportarbete, dvs. personkilometer, eftersom passagerarvolymen är mindre relevant i bränslesammanhang.

Nedgången 1991 på hela 17 % var dels på grund av inhemsk lågkonjunktur och momsbeläggning av resor, dels på grund av att utrikestrafiken under senare delen av året minskade kraftigt till följd av kriget i Kuwait och då drog med sig inrikes anslutningsresor. Under senare delen av 1990-talet märktes en relativt stabil uppgång som dock bröts år 2002 och följdes av stagnation.

Trafikverket fick i mars 2011 ett regeringsuppdrag att utreda behovet av ökad kapacitet i det svenska järnvägssystemet. Uppdraget utökades senare till övriga trafikslag, inklusive flyg. Detta medförde vissa problem eftersom Trafikverket inte ansvarar för flygets infrastruktur och inte heller hade någon löpande prognosverksamhet anpassad för flyg. Trots att tillräcklig beräkningskapacitet har funnits sedan början av 1980-talet har hittills ingen lyckats presentera en fungerande datormodell för att prognosticera inrikesflyg. Luftfartsverket använde därför relativt enkla regressioner baserade på bland annat förväntad BNP-tillväxt. Transportstyrelsen som via Luftfartsstyrelsen (2005-2008) övertog prognosarbetet använder också relativt enkla regressions samband för sina femårsprognoser.

I Kapacitetsutredningens slutrapport från april 2012 (TRV2012:100) är problemet uppenbart. Som prognosmodell för persontransporter användes den sedan slutet av 1990-talet utvecklade, verksgemensamma Sampers. Denna modell har dock aldrig levererat några användbara resultat för inrikesflyg vilket tidigare knappast heller har varit något större bekymmer. Dessutom matades modellen av misstag med ett felaktigt värde för en bedömd bränslekostnadsminskning. Felaktiga elasticiteter och svårigheter att tillföra för flyget relevanta socioekonomiska data ledde till ett mycket underligt resultat. En ökning på totalt 1,4 % under perioden 1991-2006 skulle följas av 88 % ökning 2007-2030 och ytterligare 3 % (räknat på 2006 års nivå) åren 2031-2050. Resultatet kritiserades av ledamöter i Trafikverkets styrelse redan i utredningens kapitel 20 och drog på sig omfattande extern kritik. Att Sampers ibland ger underliga resultat för långväga reguljär kollektivtrafik har dock varit känt sedan länge. Av bland annat detta skäl utvecklade KTH modellen Samvips som användes för prognoser åt Högstighetsutredningen (SOU 2009:74). Resultaten avseende flygtrafik blev dock ännu orimligare än i Kapacitetsutredningen, med 104 % ökning 2008-2020.²

Kapacitetsfrågan inom flygtrafiken behandlades extremt kortfattat i Kapacitetsutredningens avsnitt 1.3.4 och 9.4. På Trafikverkets uppdrag utreddes frågan parallellt av Ramböll. Rapporten är publicerad av Trafikverket som TRV 2011:734 *Flygprognos investering*. Texten innehåller dock inte mycket nytt eftersom den enbart behandlar fyra flygplatser och i övrigt återanvänder förvånansvärt mycket av innehållet i Transportstyrelsen (2009) utan att uppdatera detta med data för 2009 - 2011. Hösten 2012 publicerade Trafikverket en ny prognos, denna gång baserad på rena bedömningar.³ Prognosen är här lika med Transportstyrelsens prognos till 2017 följd av ett intervall mellan noll och en procents årlig tillväxt till 2050:



Figur 2 Trafikverkets prognos för inrikesflyg

Källa: TRV2012:222. Obs mätt i personkilometer. TS = Transportstyrelsen, TRV = Trafikverket (fastställd prognos). Återgivningen av Swedavias prognos approximativ.

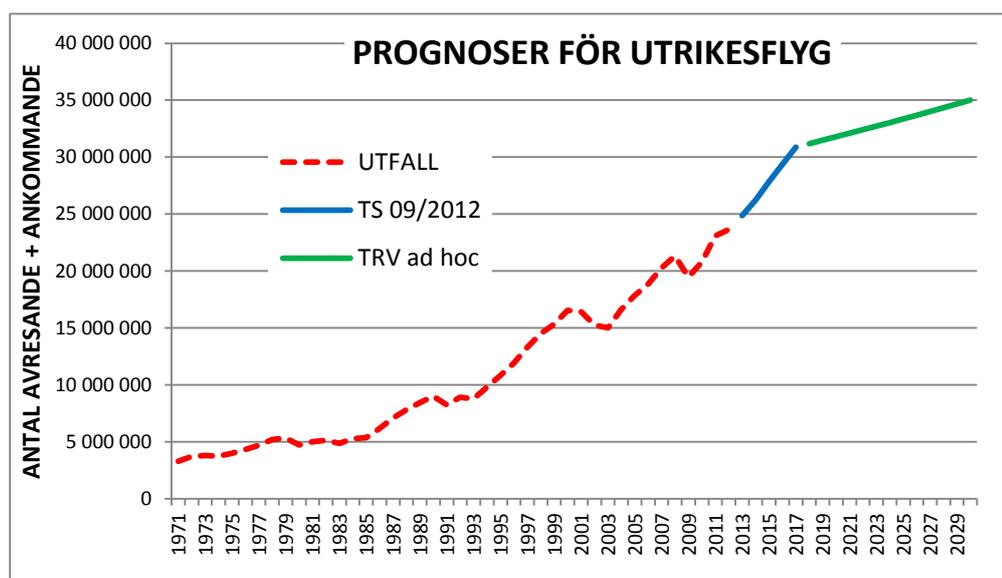
² Detta är förklaringen till att SOU 2009:74 hävdade att högstighetsbanorna skulle överföra 1,6 miljarder pkm från flyg till järnväg vilket var 117 % av all inrikestrafik 2007 på samtliga berörda flygplatser. En närmare diskussion finns i Transportstyrelsen (2009).

³ Trafikverkets prognos för inrikesflyg, TRV 2012:222.

3.2 Utrikesflyg

För utrikestrafiken har utvecklingen varit betydligt stabilare med en trendmässig tillväxt i över 40 år, endast avbruten av få och kortvariga svackor. Mätt i antal passagerare passerade utrikestrafiken inrikestrafiken (antal avresande) år 1990. Att den växande utrikestrafiken därefter inte verkar ha gett inrikestrafiken någon större draghjälp beror bland annat på att en stor del av utrikestrafiken numera är så kallat lågprisflyg som saknar inrikes anslutningsflyg.

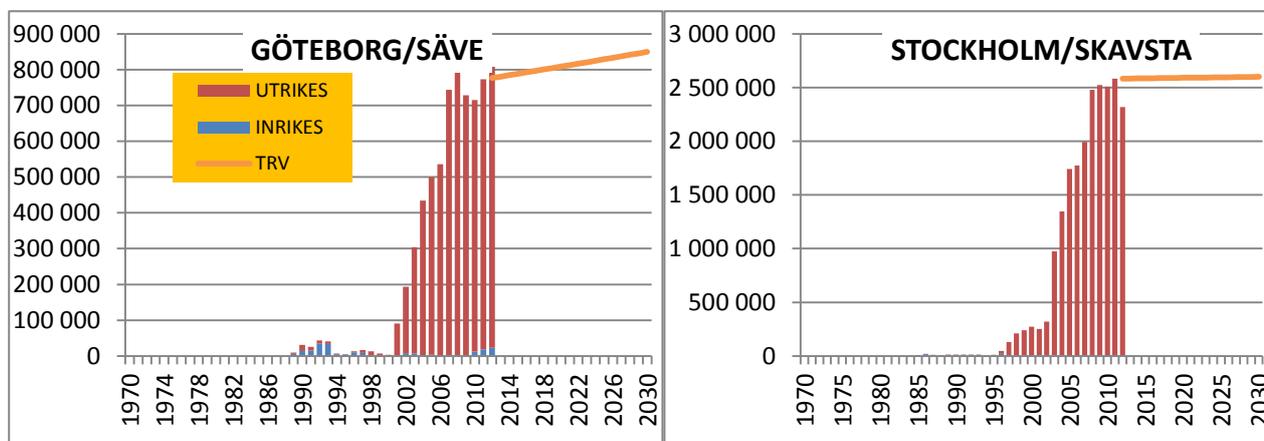
Trafikverket har nyligen gjort en prognos även för utrikesflyg i syfte att kunna redovisa prognoser för total trafik på flygplatsnivå till TEN-T.⁴ Bedömningen bygger på Transportstyrelsens prognos till 2017 men därefter antas en betydligt svagare ökning. Personkilometer är inte ett meningsfullt mått för utrikes trafik och prognosen redovisas därför i antal passagerare:



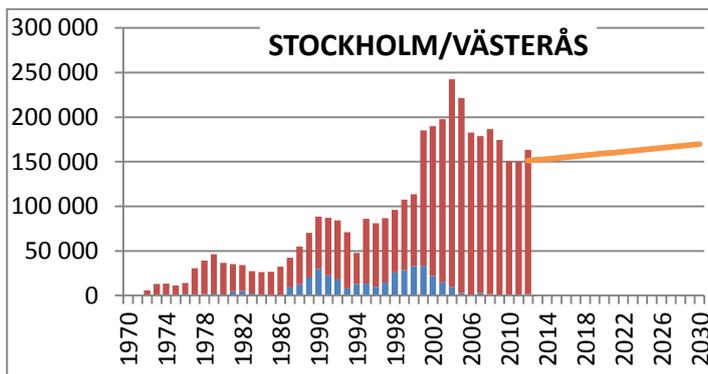
Figur 3 Trafikverkets TEN-prognos för utrikesflyg

Källa: TRV 2013:9271. Obs! Mätt i avresande + ankommande passagerare. TS = Transportstyrelsen, TRV = Trafikverket (ej fastställd).

Bedömningen av utrikestrafiken skiljer inte mellan reguljärtrafik och chartertrafik och sedan början av 1990-talet upprätthålls inte heller någon sådan skillnad i flygplatsstatistiken. Däremot går s.k. lågprisflyg att särskilja eftersom det till helt övervägande del bedrivs på tre flygplatser som i stort sett saknar övrig trafik; Göteborg-Säve, Stockholm-Skavsta och Stockholm-Västerås. Här finns tydliga tecken på stagnation:



⁴ Flygplatsvisa prognoser till TEN-T, TRV 2013:9271.

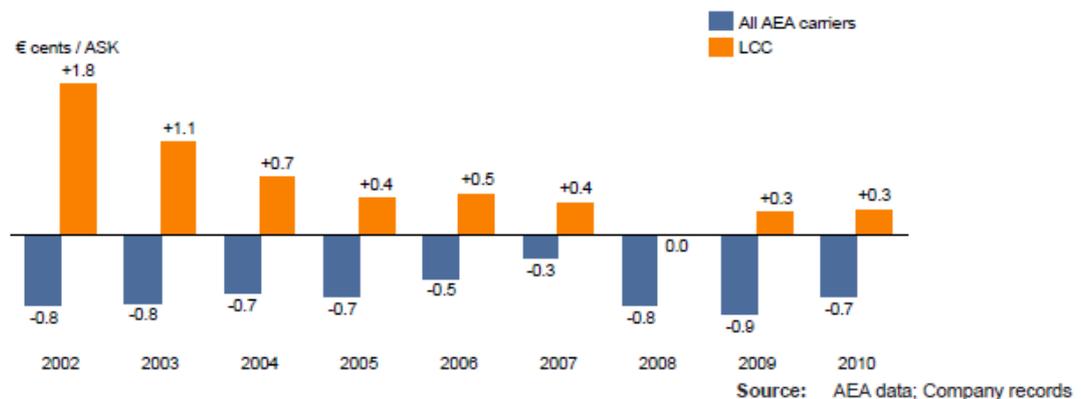


Figur 4 Trafikhistorik och prognos för de tre största lågprisflygplatserna

Källa: TRV 2013:9271. TRV i figuren = Trafikverkets prognos i TRV 2013:9271 (ej fastställd).

Ökningen på Västerås 2012 och på Säve 2011-2012 uppvägs mer än väl av minskningen på Skavsta 2012 där den dessutom minskade från en fyraårig stagnationsperiod. Den förväntade långsiktiga stagnationen i lågpristrafiken baseras på att den nuvarande prisskillnaden delvis är en illusion dold bakom en mängd påhitade avgifter som hos fullservicebolagen ingår i biljettpriset, dels till stor del upprätthålls på bekostnad av flygplatserna. Dessa går utan undantag med stora driftunderskott vilket inte kan vara långsiktigt hållbart.⁵ Lönsamheten hos lågkostnadsbolagen har dessutom, enligt Association of European Airlines, trendmässigt minskat under åren 2002-2010:

Net margin per ASK for median airline in carrier grouping



Figur 5 Marginal (€ cent) per passagerarkilometer för olika flygbolagskategorier

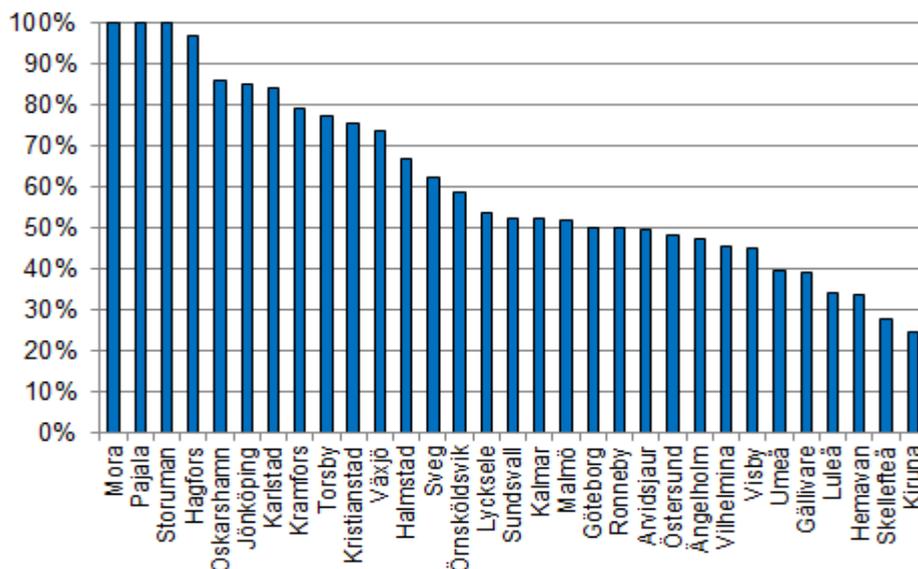
Källa: AEA Seabury (2012). LCC = "lågkostnadsbolag".

3.3 Resenärskategorier och belägningsgrader

Flygpassagerare brukar indelas i affärsresenärer och privatresenärer efter syftet med resan. Det finns inga definitioner av dessa kategorier och heller ingen officiell statistik. För Arlandas del finns det i miljövillkoren ett krav på att utsläpp av koldioxid och kväveoxider från marktransporter ska inkluderas i flygplatsens utsläppstak. Av denna anledning genomförs årliga resvaneundersökningar där ett stickprov av passagerare tillfrågas om start- och målpunkter och syftet med resan. I detta fall är det resenärens egen uppfattning om reseändamålet som redovisas. Man kan därför misstänka en viss överskattning av kategorin affärsresenärer eftersom gränssfallen förmodligen föredrar att ge sin resa en större prägel av nytta.

⁵ TRV 2012:222.

Andel affärsresnärer från Arlanda Avresande till resmål, 2012



Figur 6 Grov kategoriuppdelning till inrikes destinationer 2012

Källa: Swedavia (Karl Jonsson). För tolkningen se text. Rubrikens stavfel är från originalet.

Resultaten i Figur 6 bygger på stickprov ur i vissa fall mycket små resenärsströmmar vilket innebär att själva stickprovet blir litet och ger dålig precision. Till exempel för Mora intervjuades 19 personer och alla destinationer med färre resenärer än Kiruna har under 100 respondenter. Konfidensintervall på 95-procentsnivån skulle i flera fall troligen sträcka sig över något tiotal procentenheter. Det är också en gåta hur resenärer har kunnat uppges Storuman som destination eftersom det inte bedrivs någon reguljär trafik dit sedan juni 2010.

Beläggingsgraden ("kabinfaktorn") i flyget är på sådana nivåer att större ökningsknappast är möjliga. Inrikes anger SOS Luftfart 2011 10,72 miljoner stolar för 6,97 miljoner passagerare, dvs. 65 %. Genomsnittsflygplanet hade 66 passagerare och följaktligen cirka 100 stolar. Utrikes var produktionen 16,09 miljoner stolar för 11,56 miljoner passagerare, dvs. 72 %. Fördelat på 122 400 avgångar ger detta 94 passagerare per avgång och ett genomsnittsflygplan med ca 130 stolar. Skillnaden gentemot inrikes kan förefalla liten men utrikestrafiken bedrivs till stor del med utländska navflygplatser som första destination och då med relativt hög frekvens. Charterflyg och "lågprisflyg" har normalt högre beläggning än reguljärt utrikesflyg men detaljerad statistik saknas.

4 FLYGPLANSFLOTTA 2013 OCH 2030

Inom ramen för uppdraget har flygplansflottorna hos samtliga 21 svenska bolag som i februari 2013 innehade operativ licens inventerats vilket är ett krav för att få bedriva kommersiell trafik med passagerare eller gods. Därutöver finns två utländska bolag som driver reguljär passagerartrafik i Sverige, norska Norwegian och estländska Avies. Det finns dessutom utländska bolag som flyger inrikes fraktflyg men omfattningen är okänd då det inte finns tidtabeller eller andra data för denna verksamhet. Inrikes fraktflyg är dock en nästan betydelselös verksamhet; år 2012 hanterades totalt 2 515 ton. Utrikes fraktflyg hanterade 125 329 ton.⁶ För SAS' del ingår hela SAS Group, dvs. hela flottan, eftersom det inte finns något sätt att avgränsa den svenska verksamheten.⁷ Det går visserligen att grovt sålla bort de flygplanstyper som knappast används i inrikes trafik men nyttan av en sådan avgränsning är låg och den ändrar inte slutsatserna nedan. Motsvarande gäller för Norwegian där det dock spelar mindre roll att större delen av verksamheten bedrivs utomlands eftersom man har en enhetsflotta.

4.1 Sammansättning

Antalet flygplan är inte särskilt relevant i sammanhanget. I stället har den totala stolskapaciteten beräknats. Uppgifterna har inhämtats från respektive flygbolags hemsidor och Transportstyrelsens luftfartygsregister. När uppgifterna är motstridiga har en bedömning gjorts från fall till fall men generellt är skillnaderna små.

Tabellen nedan visar samtliga flygplanstyper som bidrar med mer än 250 stolar till det totala resultatet på drygt 38 000 stolar, samt en bedömning av huruvida de olika typerna kommer att vara i trafik år 2030. I vissa fall är bedömningen inget problem. Det är uppenbart att alla Norwegians och nästan alla SAS' Boeing 737-800 kommer att flyga år 2030 och lika uppenbart att Avro RJ100 inte kommer att göra det. Naturligtvis är det inte säkert att nuvarande B737 flyger i Sverige men de kommer då troligen att ersättas med andra flygplansindivider av samma typ. Avro RJ100 flygs enbart av Malmö Aviation som kommer att ersätta den med Canadair C-Series 100 och 300 år 2014. I kategorierna "troligen" och "knappast" är bedömningen mer att betrakta som gissning.

⁶ Transportstyrelsens statistik.

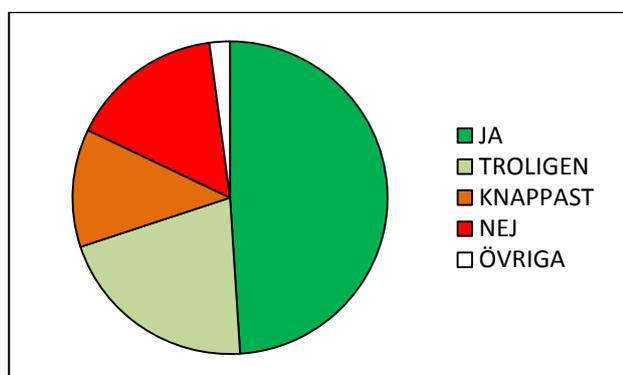
⁷ Motsvarande gäller för redovisning av antal anställda i SOS Luftfart.

Tabell 1 Flygplanstyper 2013 (januari) och 2030

FLYGPLANSTYP	ANTAL	STOLAR	2030?
Boeing 737-800	88	16389	Grön
McDonnell-Douglas 82	23	3450	Röd
Boeing 737-600	28	3444	Ljusgrön
Boeing 737-700	18	2538	Grön
Airbus 321	9	1795	Orange
Airbus 340	7	1715	Ljusgrön
Airbus 330	5	1355	Ljusgrön
Canadair RJ900	12	1008	Ljusgrön
Avro RJ 100	9	1008	Röd
Boeing 767-300	3	873	Röd
Boeing 737-500	7	840	Orange
Saab 2000	11	594	Orange
Airbus 319	4	564	Ljusgrön
McDonnell-Douglas 87	4	500	Röd
Saab 340	13	455	Orange
Boeing 737-400	3	450	Orange
ATR 72	5	355	Orange
BAe ATP	4	272	Röd
BAe Jetstream 32	12	228	Orange
Övriga	68	811	
SUMMA	333	38644	
Grön = med all sannolikhet i bruk år 2030			
Ljusgrön = troligen i bruk år 2030			
Orange = knappast i bruk år 2030			
Röd = ej i bruk år 2030			

Källa: se text.

Flera av typerna är varianter av en ursprungsmodell. Den massiva dominansen för Boeing 737-800 beror på att Norwegian uppger sig ha 63 och SAS 18 och att planen är relativt stora med cirka 185 stolar. Om kapaciteten fördelas på den bedömda sannolikheten att typen är i bruk 2030 framträder följande bild:



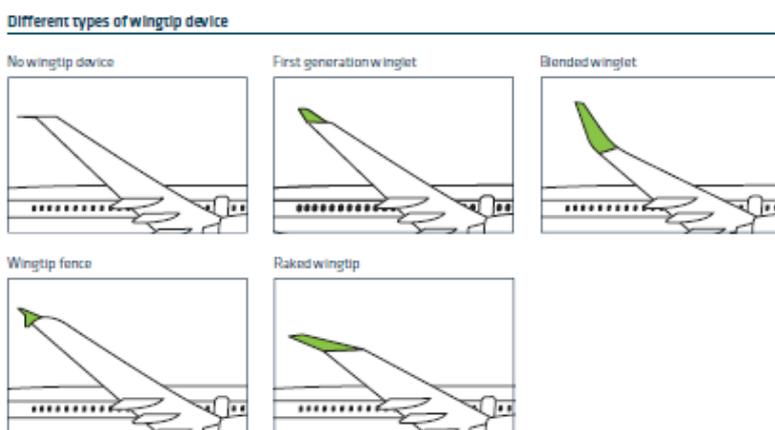
Figur 7 Nuvarande flygplanstypers användning 2030

Källa: sammanställd från Tabell 1.

Av nuvarande stolscapacitet bedöms cirka 70 % åtminstone troligen vara i luften år 2030. För vissa flygplanstyper, framför allt B737-800 som tillförts flottan i stort antal under senare år, är det uppenbart att den helt övervägande delen av de flygplansindivider som flyger 2013 också flyger 2030. Detsamma gäller Airbus 340 vars tillverkning nyligen har upphört. I andra fall som Airbus 319 är det en stor andel kommande beställningar av samma typ som flyger år 2030.

4.2 Teknisk utveckling till 2030

Medan flygplanstypen är i produktion går det att utnyttja framstegen inom motorteknologin genom att byta den motortyp som planet levereras med. I regel går det däremot inte att eftermontera en nyare motorgeneration på redan befintliga flygplan. För själva flygkroppen går det bara att förbättra den ursprungligen uppnådda aerodynamiska effektiviteten i obetydlig grad. Ett exempel är att förse nyproducerade plan av äldre utformning med vingspetsfenor ("winglets"; i Airbus' terminologi "sharklets") men denna typ av förbättringar går sällan att införa på redan befintliga plan.



Figur 8 Vingspetsfenor

Källa: ATAG (2010).

Generellt sett finns få tekniska framsteg som kan eftermonteras på befintliga flygplan eller är ekonomiskt försvarbara. På 1990-talet förekom så kallade "hushkits" som dämpade motorbuller för att en befintlig flygplanstyp skulle klara ICAO:s nya bullerregler. För den i USA vanliga, tremotoriga Boeing 727 fanns en konverteringssats som helt enkelt pluggade igen hålet för mittmotorn och ersatte de två övriga med starkare. Generellt är erfarenheterna av sådana lösningar att marknads intresse är mycket svagt. Lösningen blir för komplicerad och dyr i förhållande till nyttan.

4.3 Framtida flygplansbehov och orderläge

Avsnittet innehåller en detaljerad genomgång av orderläget hos de största tillverkarna i syfte att bedöma vilka flygplanstyper som kommer att dominera flygplansflottan 2030 och därmed vilken genomsnittlig teknologinivå som då kan förväntas.

4.3.1 Tillverkare och segment

Efter en lång konsolideringsprocess finns bara två tillverkare av större jetplan kvar: Airbus och Boeing. Airbus grundades ursprungligen 1970 med syfte att utveckla ett europeiskt passagerarflygplan och är numera helägt av fransk-tysk-spanska rymd- och försvarskoncernen EADS. Övriga europeiska tillverkare som till exempel British Aircraft Corporation och Fokker finns inte kvar. Boeing är ett börsbolag som i sin nuvarande form uppstått ur en lång rad sammanslagningar vars senaste och troligen sista steg var uppköpet av McDonnell-Douglas 1997. De ryska tillverkarna Iljuzjin, Tupolev och Sukhoi samt ukrainska Antonov har aldrig lyckats konkurrera på världsmarknaden och knappt heller på hemmamarknaden. Japaner och kineser har hittills inte gjort några särskilt ambitiösa försök att dra igång civil flygplanstillverkning. I Asien finns fortfarande några exemplar av Japans hittills enda bidrag, det 60-sitsiga turbopropflygplanet NAMC YS11 vars tillverkning lades ner 1974. Mitsubishi avser dock att börja producera MRJ, Mitsubishi Regional

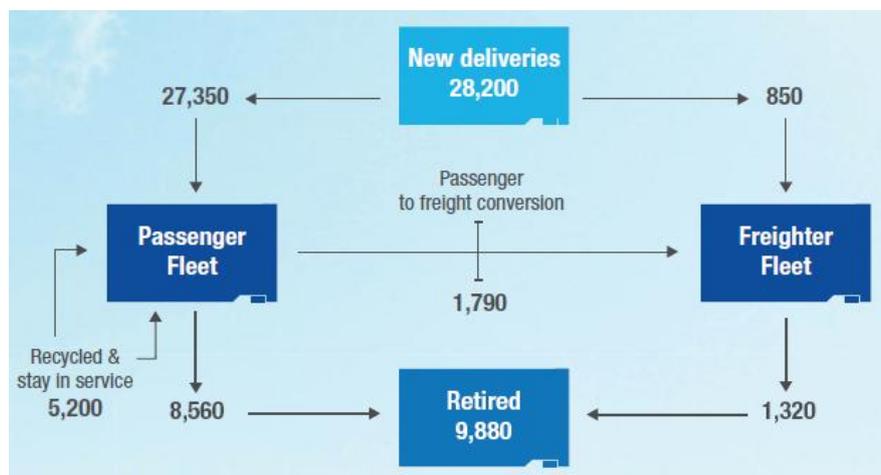
Jet med 70 – 90 stolar, inom något år. Flygplanstillverkning kännetecknas av mycket påtagliga stordriftsfördelar vilket gynnar konsolidering och försvårar marknadsinträde. Kina tillkännager då och då ambitionen att slå sig in på den marknad för stora flygplan som nu är helt i händerna på Airbus och Boeing men oavsett hur mycket resurser man sätter in på en sådan satsning kommer den inte att få någon effekt alls till 2030 och obetydlig sådan till 2050.

Airbus och Boeing tillverkar inte mindre flygplan än drygt 100 stolar. Brasilianska Embraer tillverkar jetflygplan i storleksintervallet 37 – 125 stolar men numera inte turbopropflygplan. De huvudsakliga tillverkarna av sådana är kanadensiska Bombardier och fransk-italienska ATR (Avions de Transport Regional). Bombardier har gamla anor och uppger sig vara den tredje största flygplanstillverkaren och den största tillverkaren av regionalflygplan. Den mycket stora koncernen tillverkar även tåg. ATR grundades 1981 som ett samarbetsprojekt mellan franska Aerospatiale (nu en del av Airbus' ägare EADS) och italienska Aeritalia som nu ingår i Finmeccanica-gruppen. Syftet var att utveckla ett turbopropflygplan och resultatet blev de två typer man nu säljer, ATR 42 och 72.

Bombardiers 78-sitsiga Q400 fanns en tid hos SAS medan ATR 42 bara har förekommit undantagsvis i Sverige, bland annat hos regionalbolaget Holmströms på 1990-talet. Braathens Regional som äger Golden Air har ATR 72. Huvuddelen av den turbopropkapacitet som nu används i svensk trafik flygs med Saab 340 och Saab 2000. Tillverkningen av båda upphörde i slutet av 1990-talet. Bombardier tillverkar även mindre jetplan under varumärket Canadair Regional Jet, CRJ. Under 2014 börjar man sälja C-Series med 125-145 stolar, se Tabell 4. I Sverige trafikeras linjerna från Arlanda till Hagfors/Torsby, Mora/Sveg och Oskarshamn samt linjen Pajala-Luleå med 19-sitsiga British Aerospace Jetstream 32 som trots namnet är ett propellerflygplan. Denna flygplansstorlek motiveras av att vid 20 stolar inträder krav på kabinpersonal vilket gör det ekonomiskt omöjligt att flyga kommersiell passagerartrafik med 20 – cirka 32 stolar. För närvarande finns ingen tillverkare alls av flygplan i 19-stolarsklassen. År 2030 finns det sannolikt bara några få, då ytterst föråldrade Jetstream och Beech 1900D kvar att flyga dessa linjer med. Äldre typer som Dornier 228, Embraer Bandeirante och Fairchild Metro försvann från svensk inrikestrafik på 1990-talet.

4.3.2 Tillverkarnas marknadsbedömningar

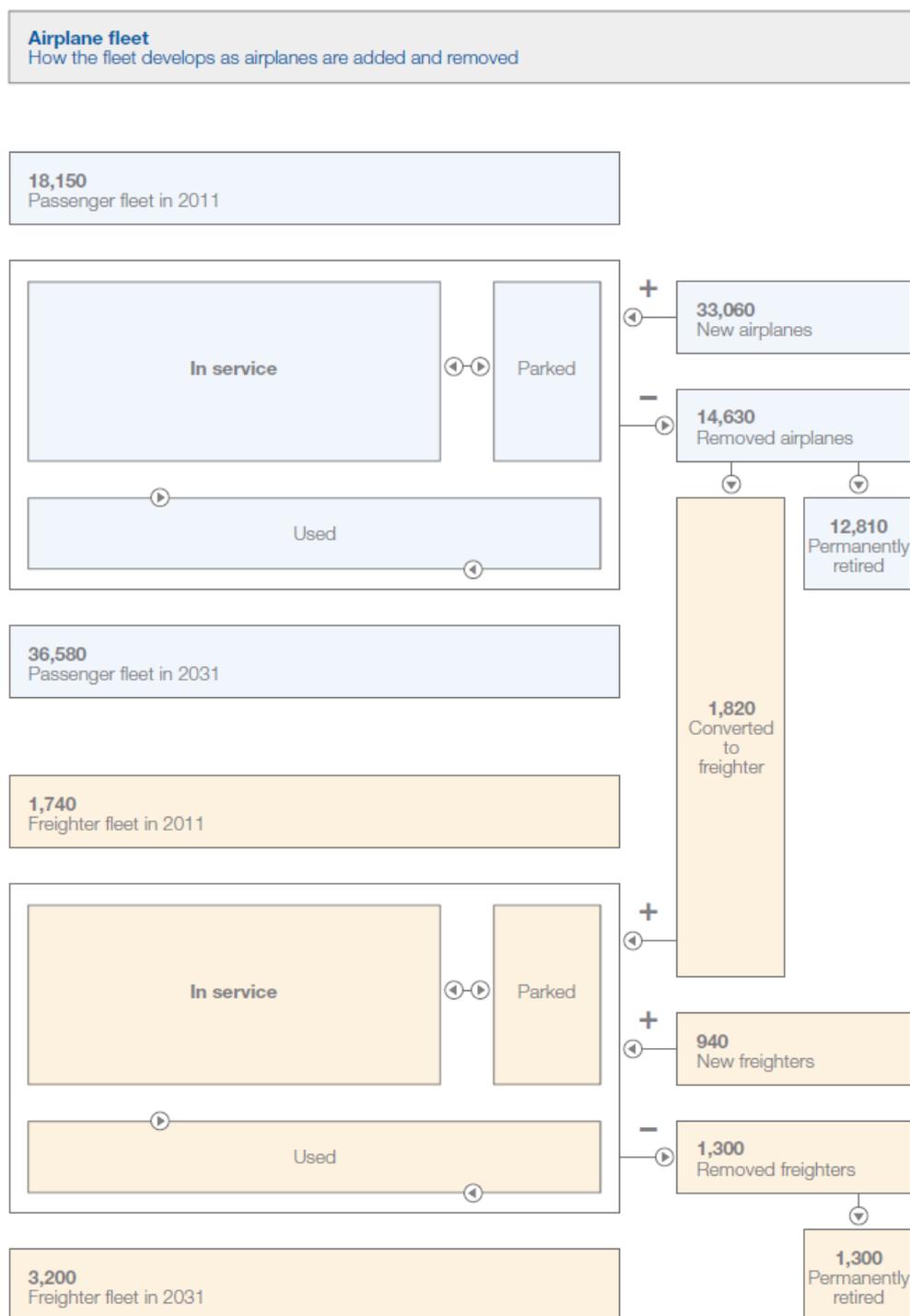
Airbus och Boeing publicerar varje år omfattande och väl genomarbetade långtidsprognoser, Airbus Global Market Forecast och Boeing Current Market Outlook. Embraer publicerar en årlig Market Outlook med fokus på de storlekar man tillverkar, 30-120 stolar, men med prognoser även för turbopropflygplan och större jetflygplan. Bombardier publicerar en Market Forecast som omfattar segmentet 20-149 stolar. ATR publicerar en jämförelsevis ytterst kortfattad prognos av reklambladskaraktär. Den senaste är från mars 2010. Det är relativt lätt att jämföra Airbus' och Boeings prognoser medan Embraer och Bombardier tillämpar avgränsningar som försvårar jämförelser.



Figur 9 Airbus' flygplansprognos för perioden 2013 - 2031

Källa: Airbus (2013) sid 11.

Boeing har i sin *Current Market Outlook 2012* en mer detaljerad bild av den förutspådda utvecklingen:



Figur 10 Boeings flygplansprognos för perioden 2013-2031

Källa: Boeing (2012) sid 35.

I Boeings prognos ingår en kategori "regional jets" som man inte definierar men som troligen inte alls innefattas i Airbus' prognos och därmed bör tas bort vid jämförelse. Kategorin innehåller 2 740 flygplan 2011. Därmed blir utgångsläget år 2011 respektive 2012 nästan exakt samma hos båda tillverkarna, 17 150 resp. 17 170 flygplan. Varken Boeing eller Airbus gör prognoser för turbopropflygplan men en sådan finns i Em-

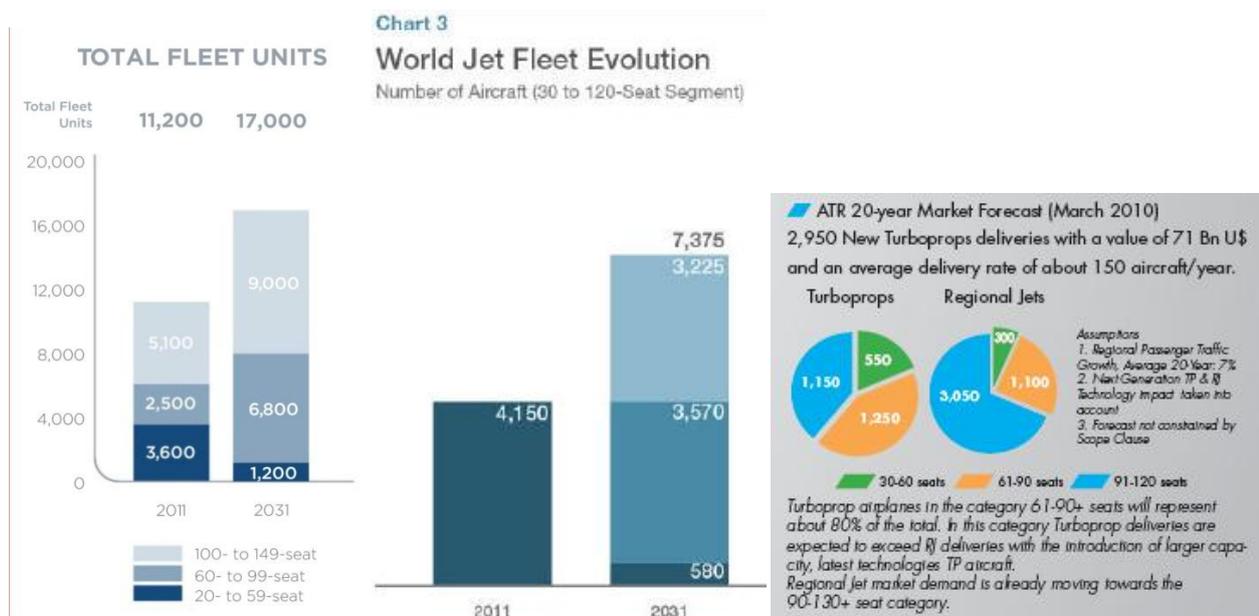
braer (2012) trots att bolaget inte längre tillverkar turboprop. Prognosen omfattar flygplan med minst 30 stolar men som ovan berörts ovan finns ingen efterfrågan i kategorin 20-29 stolar och numera inte heller någon tillverkare av de maximalt 19-sitsiga plan som har en efterfrågan. En prognos för denna kategori skulle därmed bli en ren utrangeringsprognos för den befintliga flottan.

Tabell 2 Sammanfattning av olika prognoser

KATEGORI KÄLLA ÅR	PAX >100 STOLAR FRAKT >10 TON		REGIONAL JETS		TURBOPROP		
	AIRBUS GMF		BOEING CMO		EMBRAER GMF		
	2012	2031	2011	2031	2011	2031	
BEFINTLIGA	17 170		17 150		2 740		2 070
UTRANGERAS	-9 880		-11 560		-2 550		-1 350
KVAR		7 290		5 590		190	720
NYA LEVERANSER		28 200		31 980		2 020	2 515
FLOTTA 2031		35 490		37 570		2 210	3 235

Källa: sammanställd från Airbus (2013), Boeing (2012) och Embraer (2012).

Prognoserna i Tabell 2 låter sig inte förenas med Bombardiens och ATR:s prognoser och dessa är också motstridiga inbördes:



Figur 11 Bombardiens, Embraers resp. ATR:s prognoser

Källa: Bombardier (2012), Embraer (2012) och ATR (2010).

Som ovan nämnts definierar inte Boeing "regional jet" där man förutser 2 210 flygplan 2031. Bombardier förutser för samma år 17 000 flygplan i storleksklassen 20-149 stolar och Embraer förutser 7 375 flygplan i klassen 30-120 stolar. ATR förutser leveranser av 2 950 turbopropflygplan under perioden 2010-2029 men anger inte storlek på flottan i utgångsläget. Det gör man inte heller för "regional jet", här definierat som 30-120 stolar, där man förutser 4 450 nya flygplan 2010-2029. Prognosen rimmar varken med Bombardiens eller med Embraers prognoser. Hur mycket som beror på skilda avgränsningar respektive skilda prognosbedömningar går inte att utreda med rimlig insats och i fortsättningen lämnas dessa tre prognoser därhän. De har ingen nämnvärd betydelse för syftet med denna utredning.

Boeing och Airbus redovisar orderläget månad för månad, fördelat på olika flygplanstyper.

Tabell 3 Airbus' och Boeings orderstockar 2013-04-30

ORDERSTOCK			LEVERERADE		
BOEING	TYP	ANTAL	TOTALT	I BRUK	ÅR
4 447	B737	3 138	7 564		1967-
	B747	59	1 464		1969-
	B767	63	1 049		1982-
	B777	347	1 096	1 096?	1995-
	B787	840	50	50	2011-
AIRBUS	A318	0	79	71	2002-
5 019	A319	155	1 366	1 360	1996-
	A320	2 936	3 274	3 103	1988-
	A321	798	797	793	1994-
	A330	252	945	933	1998-
	A350	616	0	0	2015-?
	A380	262	101	101	2007-
SUMMA		9 466	17 785		

Källa: sammanställd från bolagens hemsidor; Airbus' leveransår dock från www.airliners.net. Skuggad = senaste teknologi. A350 finns ännu inte på marknaden. Boeing har inte uppgifter om antal flygplan i bruk men alla 787 och antagligen alla 777 är i bruk. För Airbus ingår inte fraktversionen av 330 (30 i order, 19 levererade och i bruk). Av de nedlagda modellerna 300 och 310 levererades 816 varav 466 är i bruk.

Tabellen gäller enbart de flygplanstyper som fortfarande tillverkas. Airbus hade per 2013-04-30 levererat 7 774 flygplan varav 7 206 fortfarande var i bruk. Boeing hade levererat 18 749 jetflygplan inklusive 3 485 av de jetmodeller som Douglas/McDonnell-Douglas tillverkade före och efter övertagandet.⁸

En viktig iakttagelse i sammanhanget är att Boeings fortfarande framgångsrika modeller 737 och 747 kom ut på marknaden år 1967 respektive 1969 och båda kommer med all sannolikhet att fira sin 50-årsdag i produktion. Modellen 777 kom ut på marknaden 1995 och Boeing deklarerade redan före säljstart att man skulle tillverka den i minst 50 år. Om samma sak gäller 787 Dreamliner som började säljas 2011 kommer den att tillverkas in på 2060-talet och de sista kommer att tas ur trafik runt 2090. Airbus' storsäljare A320 är den äldsta av de modeller bolaget fortfarande säljer. Denna trögrörlighet på marknaden bör man ha i åtanke när teknisk utveckling förs fram som en lösning på alla problem, även närtida. Det går dock inte att direkt jämföra startår för Airbus och Boeing då det amerikanska regelsystemet får tillverkarna att hålla fast vid samma grundbeteckning för att undvika kostsamma nycertifieringar. Av bland annat denna anledning har BAe Jetsream 32 fått namnet Super 31 i USA.

4.3.3 Airbus' prognos för de nordiska länderna

Airbus redovisade i februari 2013 även en särskild prognos för de fem nordiska länderna. Boeing har inte några prognoser på motsvarande detaljnivå. Enligt denna har Norden för närvarande drygt 35 flygbolag med sammanlagt ca 280 flygplan med minst 100 stolar. Enligt Airbus behöver 183 flygplan anskaffas till 2031 för att ersätta redan befintliga och ytterligare 353 för att klara tillväxten. Den sammanlagda anskaffningskostnaden är cirka 360 miljarder kronor.⁹ Följaktligen krävs en årlig investeringsvolym på nära 20 miljarder kr 2013-2031 men i vart fall den del som är svenskt inrikesflyg kan omöjligen klara sin andel av en sådan omställning.¹⁰ Det är därför troligt att den svenska inrikesflygtrafiken 2030 bedrivs med äldre flygplan i mycket högre utsträckning än vad Airbus' prognos antyder.

Slutsatsen i denna del är att omkring tre fjärdedelar av de flygplanstyper som används i Sverige och av SAS och Norwegian fortfarande kommer att vara i bruk år 2030. Till stor del rör det sig om samma flygplansin-

⁸ 556 DC8, 976 DC9, 446 DC10, 200 MD11, 1191 MD80 och 116 MD90. Sista leveranserna, två MD11, skedde 2001.

⁹ Airbus pressmeddelande 2013-02-20,

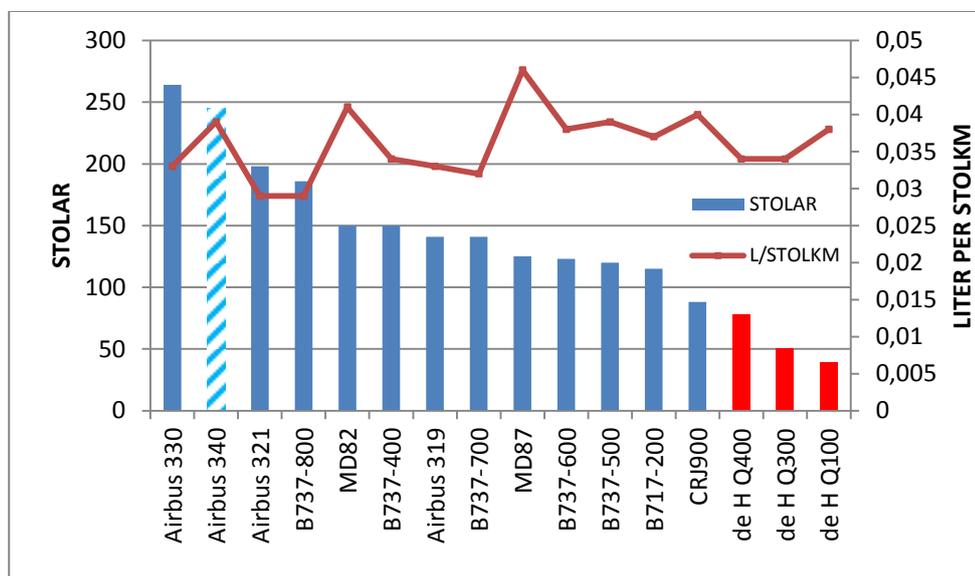
¹⁰ Lönsamheten i det svenska inrikesflyget finns för perioden 2000-2008 analyserad i Transportstyrelsen (2009). Det har inte blivit bättre under senare år. Bland annat har Skyways och City Airline gått i konkurs 2012.

divider 2013 och 2030. Flottan kommer att vara betydligt större år 2030 men tillskottet kommer till nära 100 % att utgöras av flygplanstyper som redan är i produktion, alternativt utgöra varianter på existerande typer eller snart komma i produktion som till exempel Airbus 350. Inslaget av teknologi som nu finns på ritbordet men inte i produktion ("blueprint technology") kommer att vara någon procent. Inslaget av helt ny, idag okänd teknik kommer på 17 års sikt att vara obefintligt 2030. Retrospektivt kan man på samma tidshorisont konstatera att av flygplanstyperna i Tabell 1 finns det en enda inte var i pågående eller nära förestående produktion för 17 år sedan, Canadair CRJ900. Den kan ändå delvis betraktas som dåtida "blueprint technology" eftersom den bygger på CRJ700 som då var nära produktionsstart. Däremot kan Canadair C-Series (se Tabell 4 nedan) betraktas som ett exempel på ny teknik, dvs. den fanns inte på ritbordet år 1996. Om Malmö Aviation får samtliga tio beställda till år 2016 kommer denna nya teknik då att svara för mindre än 5 % av stolskapaciteten. Ett ytterligare exempel är Boeing 787 Dreamliner som Norwegian beställt för leverans 2013. Den kommer dock inte att användas i inrikes trafik.

4.4 Bränsleåtgångens utveckling

SAS' flygplansflotta var vid utgången av 2012 spridd över många olika typer, storlekar och teknologiårgångar. Bolaget anger bränsleåtgång per stolkilometer för samtliga typer. Detta ger möjlighet att åtminstone grovt fördela skillnaden i specifik åtgång på flygplansstorlek och teknologiårgång.

Den specifika bränsleåtgången varierar mellan 0,029 liter per stolkilometer för Airbus 321 och Boeing 737-800 till 0,046 liter för MD87. Typen MD82 kom i bruk i början av 1980-talet som en utveckling av MD81. Den hade dåtidens bästa motorteknologi (Pratt & Whitney JT8D-217C). För att se effekten av ungefär ett årtiondes teknologiska utveckling kan man jämföra med den lika stora Boeing 737-400 som har cirka 17 % lägre specifik åtgång med CFM 56-3 motorer. Åt andra hållet kan man jämföra med den mätt i stolar 24 % större Boeing 737-800 som har 29 % lägre åtgång med bara något nyare motorteknologi, CFM 56-7B. Skillnaden här illustrerar stordriftsfördelar i flygplan och motorer snarare än teknisk utveckling.



Figur 12 Storlek och bränsleåtgång för SAS' flygplanstyper

Källa: bearbetning av data från SAS' hemsida. Airbus 340 är fyrmotorig; de Havilland Q100/300/400 är turbopropflygplan.

Malmö Aviation avser att ersätta sina 10 Avro RJ100 med lika många Canadair C-Series 100 och 300. Medan Avro representerar 1980-talsteknologi i såväl aerodynamik som motorer är C-Series den absolut bästa nu tillgängliga teknologin. Jämförelsen nedan visar följaktligen den sammanlagda effekten av aerodynamisk utveckling, motorteknisk utveckling och inte minst att gå från fyra till två motorer:

Tabell 4 Data för Malmö Aviations flygplanstyper

	Stolar	Distans (km)	Stolkm	Liter/stolkm	Kg CO ₂ /stolkm
RJ100	112	504	56448	0,048	0,121
CS300	145	504	73080	0,030	0,075
CS100	125	504	63000	0,032	0,082

Källa: TRV 2012:100, ursprungligen Ann-Sofie Hörlin, miljöchef på Malmö Aviation. Uppgiften om bränsleförbrukning för RJ100 överensstämmer med vad SAS uppgav medan man använde typen hos Blue1 men inte med Malmö Aviations årsredovisning 2010.

Den ursprungliga BAe 146-100 flög första gången 1981. Avro RJ100 är baserad på varianten 146-300 som flög första gången 1987. Tabellen kan därför ses som en sammanfattning av åtminstone 25 års utveckling. Mot denna bakgrund är resultaten inte alltför uppmuntrande. CS100 drar visserligen 33 % mindre bränsle än RJ100 men 10 - 15 procentenheter kan tillskrivas övergången från fyra till två motorer (jämför Airbus 340 och 330 i Figur 12). Ytterligare någon procentenhet kan tillskrivas att CS100 har 12 % fler stolar. Kvar att tillskriva den rent tekniska förbättringen är i bästa fall 20%.

Från flygets barndom in på 1980-talet kunde flygplansmotorer inte leverera den dragkraft som flygplans-tillverkare egentligen ville ha och antalet motorer blev därför högre än optimalt. Tidiga exempel på problemet är tolvmotoriga Dornier X från 1930-talet, tiomotoriga Boeing B36 från 1940-talet, åttamotoriga Boeing B52 från 50-talet (flyger fortfarande) och att de relativt små genombrottsjetplanen de Havilland Comet, Boeing 707 och Douglas DC8 från 1950-talet hade fyra motorer. Så småningom hann motorutvecklingen ifatt. De åtta motorerna på de B52 som fortfarande är i bruk är av 1960-talsgeneration och levererar en sammanlagd dragkraft som obetydligt överstiger vad man får ur en enda av dagens största motorer, cirka 550 kN. Stora flygplan kunde via några få tremotoriga övergångsvarianter som Lockheed 1011 Tristar och McDonnell-Douglas DC10/MD11 nu göras tvåmotoriga. Denna utveckling fördröjdes dock av ett internationellt regelverk benämnt Extended Twin Operations (ETOPS)¹¹ som krävde att ett tvåmotorigt flygplan måste följa en rutt som medgav att en flygplats kunde nås på en motor inom viss tid. Regeln medförde tidigare att vissa rutter, till exempel mellan Europa och Nordamerika, behövde böjas upp mot Island för att uppfylla tidskravet vilket missgynnade tvåmotoriga plan. Efter goda erfarenheter av moderna motorers tillförlitlighet har reglerna liberaliserats och spelar nu ingen roll över Atlanten men däremot på vissa rutter på södra halvklotet. Vid given flygplansstorlek blir luftmotståndet betydligt mindre med två motorer än med tre eller fyra och dessutom finns det stordriftsfördelar i själva dragkraftsproduktionen. Den förbättring av specifik energiåtgång som har uppmätts under de senaste årtiondena är därmed delvis en följd av en engångsfaktor.

4.5 Slutsatser om flygplansflottan 2030

Om man utgår från Airbus' prognos, som är den mer konservativa i Tabell 2, orderstocken i Tabell 3, samt utesluter kategorin "regional jets" framkommer följande slutsatser:

- Av flottan år 2031 (35 490) flyger redan 21 % (7 290). Annorlunda uttryckt kommer cirka 42 % av dagens i bruk varande flygplansflotta fortfarande att flyga år 2031.
- Ytterligare 27 % (9 466) är redan beställda.
 - Av dessa 9 466 är endast 20 % (1 918) att betrakta som senaste teknikgenerationen (B787, A350, A380).
- Båda bolagen har orderstock motsvarande flera års produktion och inget tyder nu på dramatiskt ökande produktionskapacitet eller markant minskande orderstockar före 2030.
- De nya flygplan som flyger 2030 måste följaktligen beställas senast omkring 2027 vilket ytterligare minskar utrymmet för den tekniska utvecklingens genomslag i 2030 års flotta.

¹¹ Ibland EROPS, Extended Range Operations.

- Den senaste teknologin som nu finns tillgänglig, Boeing 787, tillkännagavs av Boeing i januari 2003 och bör då ha utvecklats något år i hemlighet. Första leveransen skedde 2011, dvs. efter ca tio år. 2030 års flotta kommer därför knappast att innehålla någon flygplanstyp vars utveckling påbörjats efter 2020.
- För den svenska inrikesflottan kan man anta att inslaget av dagens (2013) senaste teknik blir lägre än det internationella genomsnittet. Förklaringen är att en omfattande förnyelse pågår just nu; att samtliga beställningar kommer att flyga 2030 och att delar av trafiken utförs med flygplan där utvecklingen framskrider mycket långsamt eller inte alls.
- Bombardier CS100/300 kommer troligen att representera ungefär den genomsnittliga teknologin år 2030. Den *bästa* teknologin detta år kan knappast förväntas ligga mer än 10 % under CS 300, dvs. ungefär 0,27 liter per stol och mil. Om den genomsnittliga beläggningen då ligger på 70 % blir åtgången per stol och mil cirka 0,4 liter. Större än så blir knappast den tekniska utvecklingens bidrag till minskningen av flygets förbrukning av fossila bränslen.
- För den svenska utrikestrafikens flygplansflotta går det inte att dra motsvarande slutsatser. Utvecklingen bestäms i alltför hög grad av ambitionsnivån hos de flygbolag som kommer att dominera trafiken från Sverige. Generellt sett bedrivs utrikesflyg med större flygplan än inrikesflyg; anorlunda uttryckt är den bränslebesparande storlekskomponenten redan exploaterad i högre grad. En gissning är att nivåerna 2030 hamnar något under inrikestrafiken, runt 0,025 liter per stol-kilometer vilket med 80 % beläggningsgrad ger cirka 0,03 liter per passagerarkilometer.

Eftersom den tekniska utvecklingen inte kommer att ge större bidrag än vad som ovan antyds måste frågan om icke-fossila bränslen kan och bör användas i flyget analyseras i detalj.

5 FLYGBRÄNSLEN NU OCH I FRAMTIDEN

Flygbensin, internationellt benämnt Aviation Gasoline (AVGAS), dominerade trafikflyget in på 1960-talet men förekommer inte längre som drivmedel för passagerarflyg. I inrikesflyget upphörde bensinanvändningen nästan helt när dåvarande Linjeflyg avvecklade sitt sista kolvmotorplan Convair Metropolitan 1978. Försäljningen av flygbensin i Sverige har i vart fall sedan 1990 legat under 10 000 m³ (0,09 TWh) per år. Som jämförelse uppgick försäljningen av bilbensin och dieselolja år 2012 till 4,85 resp. 3,59 miljoner m³ (78 TWh). Naturvårdsverket beräknade 1988 att vid hantering av bilbensin avdunstade en kvantitet som var mer än tre gånger så stor som den totala förbrukningen av flygbensin. Den kvarvarande användningen av flygbensin sker i flygklubbsflygplan och små helikoptrar; upp till fyra sittplatser är helikoptrar i regel kolvmotordrivna.

5.1 Bränslekemi och verkningsgrad

Allt trafikflyg, oavsett om det är propellerdrivet eller jetdrivet, använder nu bränslet JET A som till sin karaktär är mycket likt dieselolja. Det går även att använda som dieselbränsle i de fåtal flygklubbsflygplan som har dieselmotorer. Att samma bränsle används i både jetplan och propellerplan beror på att kraftkällan i båda är en gasturbin - därav uttrycket turbopropflygplan. Bränslets egenskaper är noga reglerade men det finns vissa internationella skillnader, främst avseende svavelhalt. I Europa används Jet A1 med 0,02 viktprocent svavel, dvs. 200 ppm. USA och en del andra länder använder Jet A med 700 ppm och Kina Jet Fuel 3 med 2000 ppm. Densiteten är 0,8 kilo per liter och energiinnehållet ca 9,6 kilowattimmar per liter. Jetbränsle är en förhållandevis lätthanterlig vätska med betydligt mindre brand- och förgiftningsrisk än bensin. En specifikation för europeisk JET A1 finns i avsnitt 12.1.

Bränslet är en blandning av olika kolväteföreningar men dess "genomsnittskolväte" är ungefär C₉H₂₀. Bränslet består med andra ord av 9 delar kolatomer och 20 delar väteatomer. Atommassan är 12 för kol och 1 för väte vilket ger massan 128 för genomsnittskolvätet. Viktmässigt består bränslet följaktligen av cirka 85 % kol och 15 % väte. För beräkning av utsläpp kan man betrakta genomsnittskolvätet som en molekyl. Vid förbränning reagerar den med 14 syremolekyler och bildar 9 koldioxidmolekyler, CO₂, och 10 vattenmolekyler, H₂O. Då syret har atommassan 16 får varje CO₂-molekyl massan 44. Genomsnittskolvätet med massan 128 ger därmed upphov till en koldioxidmassa på $9 \cdot 44 = 396$. Förhållandet mellan bränslevikt och koldioxidvikt blir då $396/128 = 3,1$, dvs. ett kilo bränsle ger 3,1 kilo koldioxid. Med densiteten 0,8 blir resultatet 2,48 kilo koldioxid per liter bränsle. Då genomsnittskolvätet är approximativt och även densiteten kan variera något är den normala beräkningsschablonen 2,52 kilo per liter.¹²

I flygsammanhang är det nödvändigt att också beakta utsläpp av vattenånga eftersom detta har negativa effekter på hög höjd, se avsnitt 7. Vattenmolekylen H₂O har massan 18 och de tio vattenmolekylerna ovan följaktligen 180. Förhållandet mellan bränslevikt och vattenvikt blir därmed $180/128 = 1,4$, dvs. ett kilo bränsle ger 1,4 kilo (=liter) vatten. Per liter blir resultatet 1,13.

Att omvandla kolväte till koldioxid och vatten är motorns grundprocess, oåtkomlig för tekniska förbättringar. Den enda metoden för att minska utsläppen vid ett givet bränsle är att förbättra motorns verkningsgrad. En modern stor jetmotor ligger på omkring 40 % totalverkningsgrad vid planflykt; mindre jetmotorer och turbopropmotorer ligger lägre. Totalverkningsgraden är produkten av två delverkningsgrader¹³. Den termiska verkningsgraden anger effektiviteten i omvandlingen av bränsle till värme och ligger nära 100 %, dvs. avgaserna innehåller mycket små mängder kemisk restenergi i form av oförbrända kolväten eller brännbara gaser som kolmonoxid och metan. Den mekaniska verkningsgraden anger effektiviteten i motorns omvandling av värmeenergi till dragkraft och ligger för moderna, stora motorer omkring 40 %. Teknisk utveckling är därmed liktydig med förbättrad mekanisk verkningsgrad men ju högre denna är, desto svårare blir det att nå ytterligare förbättringar.¹⁴ Vid 100 % verkningsgrad skulle temperaturen på avgaserna behöva vara vid den absoluta nollpunkten.¹⁵

¹² <http://spbi.se/blog/faktadatabas/artiklar/berakningsmodeller/>

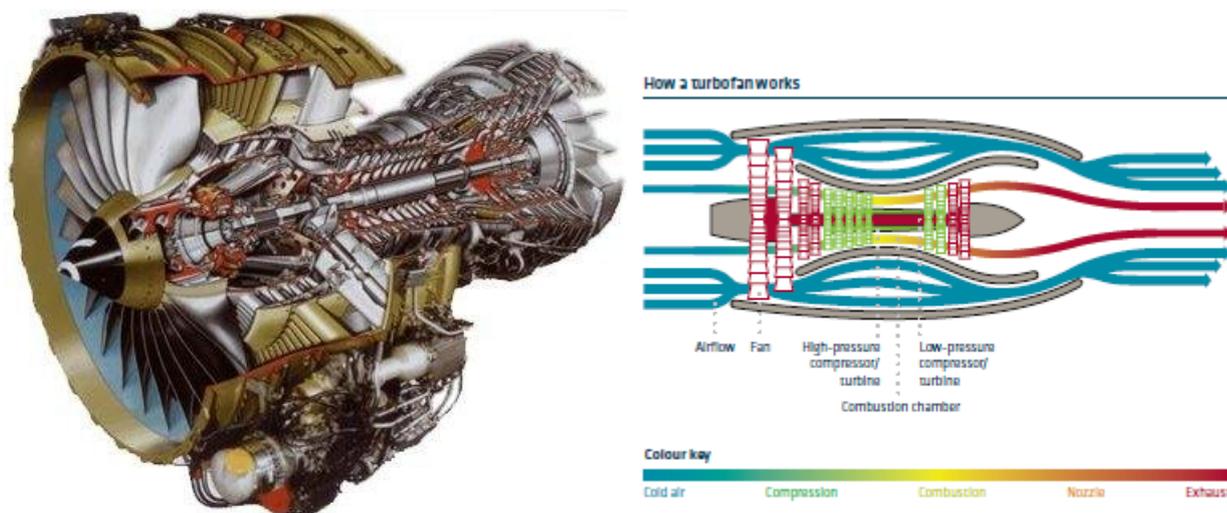
¹³ För propellermotorer tre då propellerverkningsgraden, normalt över 90 %, tillkommer medan motsvarande fläktverkningsgrad är "inbakad" i jetmotorn.

¹⁴ En diskussion av förbättringsmetoder finns i Lundblad (2007).

¹⁵ Gunston (2001)

5.2 Motorns och flygplanets krav på bränslet

En turbinmotor, oavsett om det är en turboprop eller en jet, kan närmast liknas vid en fyrtakts dieselmotor med kontinuerlig process.¹⁶ Följaktligen är den inte särskilt "kräsen" avseende bränsle. Oktantal, som mäter bränslets motståndskraft mot kompressionsantändning, är irrelevant eftersom motorn i likhet med en diesel inte komprimerar någon blandning av bränsle och luft. Cetantal, som mäter bränslets tändvillighet, är däremot relevant och ligger ungefär samma som för dieselbränslet, omkring 50 på standardskalan.¹⁷ Eftersom processen är kontinuerlig krävs ingen ny antändning när motorn väl är i gång vilket minskar cetantalskravet. Numera finns små dieselmotorer som går på jetbränsle och används i flygklubsplan. Svavelinnehållet är enbart av ondo, dvs. ju mindre desto bättre. Det medför inte några stora tekniska utmaningar att köra en turbinmotor på alternativa bränslen som alkoholer, biobaserat jetbränsle eller till och med vätgas. Omständigheten att motorn driver ett flygplan komplicerar däremot saken i hög grad.



Figur 13 Medelstor jetmotor, CFM 56-7B, och principskiss

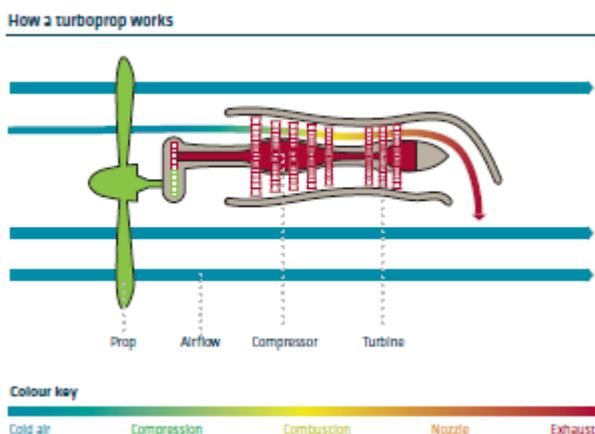
Källa: www.cfmaeroengines.com/engines/cfm56-7b resp. ATAG (2010).

I de första jetmotorerna passerade hela luftmängden i tur och ordning kompressor, brännkammare och turbin (turbojetmotor). Detta gav låg dragkraft vid start och högt buller. Så småningom gjordes kompressorn större relativt turbinen så att en del av luften kunde släppas på utsidan av turbindelen (bypassmotor). Denna utvecklades snabbt till att få två turbiner (Rolls Royce har tre) varav den bakre, lågtrycksturbinen, driver en fläkt längst fram i motorn (turbofläktmotor). Bypassförhållandet anger proportionen mellan den luftmängd som passerar utanför turbinerna och den som passerar genom turbinerna. På moderna stora motorer ligger förhållandet över 10:1.

En turbopropmotor kan sägas skilja sig från jetmotorn genom att fläkten är ersatt av en propeller. Denna skiljer sig i sin tur från en fläkt genom att ha färre blad och rotera långsammare. Turbindelens avgaser ger ett litet tillskott till dragkraften genom sin jeteffekt. Propellern är dragkraftsmässigt att betrakta som en återvändsgränd genom att antalet blad är begränsat till i regel sex eller undantagsvis åtta för att de inte ska störa varandra och genom att bladspetsarna inte får röra sig fortare än ljudhastigheten. En större propeller måste därför snurra långsammare. Kontentan blir att den övre gränsen för den motoreffekt som via en propeller effektivt kan omvandlas till dragkraft knappast ligger över 4 000 kW, dvs. ca 5 500 hästkrafter. De sista stora kolvmotorplanen, Douglas DC7 och Lockheed Constellation, hade fyrbladiga propellrar och motorer på cirka 3 500 hästkrafter.

¹⁶ En ingående förklaring av verknings sättet finns på <http://vimeo.com/44470674>.

¹⁷ Cetantalsskalan 0-100 definieras av kolvetena alfa-metylnaftalen (0) och cetan (100).



Figur 14 Principskiss för turbopropmotor

Källa: ATAG (2010).

Eftersom den enhet som omvandlar kemisk energi till mekanisk energi är en gasturbin i både jetmotorn och turbopropmotorn har de båda typerna samma krav på bränslet. Därav följer att eftersom jetbränsle alltid kan användas som dieselbränsle finns det *inget* bränsle som korrekt kan betecknas som enbart "flygbränsle". Detta gäller oavsett bränslets ursprung.

Ett oavvisligt krav på alternativa flygbränslen är att de är blandbara med existerande JET A vilket i praktiken innebär att täthet, viskositet, specifikt energiinnehåll m.m. måste vara samma som för JET A.¹⁸

5.2.1 Biobaserade bränslen

Bränslen baserade på vegetabiliska oljor som erhålls direkt ur biomassa har i regel egenskapen att bli trögflytande eller till och med stelna vid låga temperaturer vilket omöjliggör användning i flygplan. I Sverige ligger raps nära till hands som bränsleråvara eftersom det finns erfarenheter från rapsbaserad produktion av dieselolja och grödan lämpar sig för odling i Sverige. Egenskaperna hos rapsbaserade bränslen stämmer väl överens med dieseloljans och därmed jetbränslets:

Tabell 5 Egenskaper hos rapsbaserade bränslen

Egenskap	Enhet	Dieselolja	Rapsolja raffinerad	Metylester från rapsolja
Värmevärde	MJ/kg	42,4	37,6	37,2
Densitet	kg/l	0,83	0,91	0,88
Volymetriskt värmevärde	MJ/l	35,2	34,4	32,7
Kinematisk viskositet 20°C	mm ² /s	1,2-10	98	6,3-8,1
Cetantal		>45	51*	54

Källa: Norén (1991).

Ett problem med rapsolja är innehållet av glycerol (glycerin, propantriol, CH₂OH) som är en trevärd alkohol. Glycerolen ger upphov till svår koks bildning i motorn men enligt källan till Tabell 5 är detta inget problem om bränslet används i förkammardieslar eller virvelkammardieslar (däremot säkerligen i flygmotorer vilket källan inte berör). Om glycerolen tas bort ur rapsoljan och ersätts med metanol (CH₃OH) erhålls rapsmetylester, RME. Denna kan utan problem blandas i dieselolja men gällande EU-standard tillåter inte mer än 7 % inblandning. Teoretiskt sett skulle detta dock ge avsättning för cirka 250 000 m³ RME (2,3 TWh) enbart i Sverige vilket överstiger den totala energianvändningen i inrikesflyget.

¹⁸ I etanolbilar kan den bränsleblandning som når motorn innehålla allt från 85 % etanol (E85) till noll (98-oktanig bensin). För att anpassa bränsleflödet krävs att den aktuella blandningen (t.ex. "E63") detekteras av motorn vilket normalt sker via mätning av joniseringsgraden. Motsvarande lösning är knappast realistisk i en flygmotor.

Ecopar AB övertog år 2006 det arbete som Oroboros AB bedrev med att utveckla ett biomassebaserat jetbränsle. Man uppger sig ha fått fram ett sådant bränsle, "Ecofly", men enligt produktspecifikationen i avsnitt 12.2 har det 1 % för låg densitet. Någon tillverkning bedrivs inte.¹⁹ Detsamma gäller Swedish Biofuels produkt Bio Jet.²⁰

Bränsleleverantören Preems erfarenheter av biobränslen förklarar delvis svårigheterna att introducera sådana i flygsektorn.²¹ Det visade sig att RME inte kunde blandas i marin dieselolja eftersom blandningen tenderade att sätta igen filter och numera sker ingen inblandning alls utan allt går till marktransporter. Dieselkvaliteten MK1 såldes inledningsvis till fiskebåtar men visade sig ha för låg smörjeffekt och leda till skärningsskador i motorn. Denna typ av problem medför stora risker till sjöss och kan aldrig accepteras i flygtrafik. Flygbränslekunderna kräver därför att bränslet testas för förekomster av biokomponenter som RME och tallolja. Farhågorna är inte grundlösa – i tidskriften Trafikforum nr 10/2010 finns en bild på en 15 cm stor "dieselsvamp", påträffad i en reservdunk med RME-haltig dieselolja. Analys visade att svampen i själva verket var en koloni av ett 50-tal bakteriesorter och frodades till följd av att RME drar till sig vatten.

Ett bättre alternativ är möjligen hydrerade vegetabiliska oljor, HVO. Hydrering är ett alternativ till estring. Tester i dieselmotorer tyder på att HVO kan ha betydande fördelar framför RME.²² Båda har dock markant lägre värmevärde än dieselolja/jetbränsle. Detta är en relativt lättövertvunnen komplikation i dieselmotorer men skulle, med det regelverk som omger luftfarten, medföra stora ombyggnadskostnader.

5.2.2 Alkoholer

Alkoholer kännetecknas av en hydroxylgrupp, OH, och är föreningar med väte, syre och kol. Etanol har stor betydelse som fordonsbränsle. E85 innehåller 85 % etanol och 15 % bensin men vintertid höjs bensinblandningen till 25 % för att underlätta motorstart. Bensin med oktantal 95 innehåller 5 % etanol. Rent motortekniskt går det dock att öka inblandningen till i vart fall 15 %. Etanol har formeln C_2H_5OH vilket innebär att 35 % av bränslevikten utgörs av syre som inte bidrar till energiinnehållet.²³ Följden är att etanol innehåller endast 5,9 kWh per liter jämfört med jetbränslets 9,6. Densiteten är i stort sett densamma. En given mängd jetbränsle måste därför ersättas med en etanolmängd som tar upp 63 % mer plats och väger lika mycket mer om flygplanets räckvidd ska bibehållas. Med givet bränsleutrymme blir annars räckvidden försämrad med 39 %. Rent motortekniskt är det knappast något problem att konvertera en jetmotor för etanoldrift. Det låga energiinnehållet omöjliggör däremot användning i flyg. I markfordon kan man lätt sätta in större tankar eller tanka oftare men den möjligheten finns i regel inte inom flyget.

Metanol, CH_3OH , är ännu sämre såtillvida att syret här utgör halva bränslevikten. Resultatet blir att energiinnehållet är 4,4 kWh per liter. En tredje alkohol, butanol, har som framgår av dess formel C_4H_9OH väsentligt mindre syreandel men dess kol/väterelation (0,4) är föga bättre än det vanliga jetbränslets (0,45) vilket innebär att om butanolens kolinnehåll har fossilt ursprung är inte mycket vunnet. Om det är av biologiskt ursprung blir effekten ungefär som att använda flytande biobränsle vilket är mycket enklare.

Om man tar bort syreatomen ur alkoholerna blir restprodukten etan (C_2H_6), metan (CH_4) respektive butan (C_4H_{10}) som alla är gasformiga. Etan saknar användning inom transportbranschen medan metan utgör huvudbeståndsdelen i fossilgas och biogas; butan används i industriella processer och tändare. Metan kan utan större svårigheter användas i bilar och bussar och i framtiden kan metan användas i fartygsmotorer. Det förekommer experiment med metan i lastbilmotorer. Problemet är att om metan ska vara en effektiv ersättare för dieselbränsle måste den tillföras motorn i flytande form vilket kräver en temperatur på cirka minus 160° eftersom gasen vid normaltemperatur blir flytande först vid orealistiska övertryck, ca 850 bar. På ett fartyg finns plats för de anordningar som krävs för att hålla gasen vid denna temperatur men i övriga farkoster är det svårt. Gasbussar har därför trycktankar för flera hundra bar. En nyligen utvecklad "nästbästa – lösning" är att tillföra gasformig metan i tilluften men bibehålla insprutning av flytande dieselbränsle för att kunna styra tändtidpunkten. Därigenom kan ca 75 % av energiåtgången tillföras i gasform.

¹⁹ http://www.ecopar.se/pages/drivmedel_for_jetmotorer-4094.html

²⁰ www.swedishbiofuels.se

²¹ Uppgifter från Bertil Carlsson, Preem.

²² Aatola et al (2008).

²³ Syreinnhållet är anledningen till att vissa bilar, t.ex. Saab Bio Power, kan ge högre effekt vid etanoldrift än bensindrift trots etanolens mycket lägre energiinnehåll. Syreinnhållet gör att en liter luft kan blandas med så mycket mer etanol än bensin att skillnaden i energiinnehåll mer än uppvägs och det är luftomsättningen som begränsar maxeffekten.

Det är däremot omöjligt att i flygplan använda gasformiga bränslen i gasfas eftersom det då krävs övertryck och trycktankar blir ett alltför ineffektivt lagringsmedium räknat i kWh per kg. Detta gäller även dimetyleter (DME) som blir flytande redan vid ca fem bars övertryck. Bränslen som kräver måttlig kylning kan möjligen bli aktuella, förutsatt att ångbildningsentalpin under flygning är tillräcklig för att hålla bränslet flytande.

5.2.3 Vätgas

Om målet är att undvika utsläpp av koldioxid från fossilt kol framstår vätgas, H_2 , vid första påseende som ett idealiskt alternativ. Eftersom bränslet inte innehåller kol och svavel blir det varken koldioxid eller svaveldioxid vid användning i en förbränningsmotor. Restprodukten blir H_2O , dvs. vattenånga. Enligt en spridd missuppfattning är vattenånga den enda förbränningsprodukten men eftersom motorn går på luft, som till 78 % består av kväve, bildas också kväveoxider (NO och NO_2 , gemensamt NO_x). Till följd av den extremt höga förbränningstemperaturen, över 2 000 grader, blir NO_x – bildningen mycket hög. Redan på 1950-talet lyckades NASA bygga om en av flygvapnets B57 för experimentell vätgasdrift. Problemet är inte motorn utan bränsletanken. Att lagra vätgas trycktankar är uteslutet i ett flygplan men inte i markfordon. Vätgas övergår vid atmosfärtryck till vätskeform vid minus 252 grader och kan oavsett övertryck inte fås att bli flytande vid högre temperatur än minus 242 grader. Ett stort problem är dessutom restprodukten vattenånga. Denna är harmlös på marken men ger på hög höjd upphov till kondensstrimmor med vissa klimatteffekter, se avsnitt 7. Vätgasdrift medför, allt annat lika, fördubblade utsläpp av vattenånga. Det mesta tyder på att en flygmotor på hög höjd är den sämsta användningen av vätgas som motorbränsle.²⁴ På lång sikt, bortom 2050, kan möjligen andra lagringsalternativ bli aktuella. Ammoniak, NH_3 , lagrar mer vätgas per volymenhet än flytande vätgas men vätgasen är med nuvarande teknologi inte åtkomlig.



Figur 15 Vätgas som bränsle får dramatiska effekter på aerodynamiken

Källa: Klug (2000). Planet är en ren ritbordsprodukt men illustrerar problemet med att bibehålla räckvidden med vätgasdrift.

5.3 Aktiviteter på internationell nivå

EU:s vitbok om transporter från 2011 placerar, något drastiskt uttryckt, rörligheten som överordnad klimathotet: "Minskad rörlighet är inget alternativ".²⁵ I punkt 28 anges "För att uppnå målet för 2050 bör EU:s flygindustri gå i bränschen för användningen av bränslen med lågt kolinnehåll" vilket bygger på missuppfattningen att sådana bränslen finns i tillräcklig mängd och/eller att användning i flyg har fördelar framför användning i marktransporter. Vitboken innehåller i övrigt ingenting om flyg som har relevans för utredningen. På EU-nivå är det främsta styrmedlet att infoga flyget i handeln med utsläppsrätter, ETS, se avsnitt 8.3.

²⁴ Vätgasdrift diskuteras ingående i slutrapporten från Flygets Miljökommitté 2007.

²⁵ KOM 2011:144, punkt 18. Se även Trafikanalys' remissvar på http://www.trafa.se/PageDocuments/remiss_2011-05-05.pdf

5.3.1 International Air Transport Association

IATA är en sammanslutning av vissa, huvudsakligen större, flygbolag. De s.k. lågkostnadsbolagen är inte med. Organisationen har antagit följande mål för år 2020:

New aircraft design before 2020	25-35%
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geared turbofan engine will reduce fuel burn 10-15% ▪ Open rotor engine will reduce fuel burn around 25% ▪ Counter-rotating fan will reduce fuel burn 10-15% ▪ Advanced turbofan will reduce fuel burn around 15% ▪ Laminar flow reduces aerodynamic drag by reducing turbulence on aircraft surface, 10-15% less fuel burn 	

Figur 16 IATA:s mål 2009-2020

Källa: <http://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/global-approach-reducing-missions.pdf>

Med "geared turbofan" menas att turbinen driver fläkten via en växellåda vilket ger något bättre överföring av turbinens mekaniska effekt till luften. Å andra sidan försämras en av jetmotorns största fördelar som är just frånvaron av sådan underhållskrävande mekanik. Systemet lämpar sig bara för mindre motorer då den effekt som passerar växellådan blir tiotusentals kW i en stor motor och därmed svår att hantera. Med "open rotor" menas utanpåliggande fläkt. Mot denna lösning talar att den i slutet av 1980-talet hade nått fram till provflygningsstadiet men sedan lades i malpåse, mindre på grund av tekniska skäl än av utebliven förväntad bränsleprishöjning. Systemet lämpar sig inte för vingmonterade motorer och bakmonterade motorer finns numera bara på mindre jetplan. "Counter-rotating fan" är en dubbel motroterande fläkt. För en viss fläktyta kan man då åstadkomma högre dragkraft, till priset av mer komplicerad mekanik. "Advanced turbofan" innefattar rimligen de tre teknikspåren ovan och är i övrigt ett oklart begrepp. "Laminar flow" avser inte motorn utan flygkroppen. ATAG (2010) anger 15-20 % besparing med växlad fläkt, 25-30 % med utanpåliggande fläktar och upp till 16 % med "advanced turbofan". Besparingarna kan naturligtvis inte adderas.



Figur 17 Jetmotor med växlad fläkt, utanpåliggande fläktar och "advanced" utformning

Källa: ATAG (2010). De två sistnämnda finns inte i produktion.

Alternativens potentialer finns diskuterade i Lundbladh (2007). Det är föga troligt att man 2020 ens på provflygningsstadiet har en farkost som verkligen ger 25-35 % lägre bränsleåtgång jämfört med 2009 års bästa tillgängliga teknologi (den IATA jämför med). Även om detta flygplan finns 2020 kommer det 2030 ändå inte att utgöra en mätbar del av den totala flygplansflottan. Målen för 2050 är än mer svävande:

New aircraft design after 2020	25-50%
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Blended wing body, rather than the classical tube-and-wing architecture ▪ Revolutionary engine architectures ▪ Fuel cell system for on-board energy 	

Figur 18 IATA:s mål 2021-2050

Källa: se Figur 16.

Andra flygplansutformningar än de traditionella har diskuterats i årtionden utan att materialiseras i trafikflygplan. Däremot finns flera oortodoxa militära flygplan. Den revolutionerande motorarkitekturen kan naturligtvis komma – om vi såg den nu skulle den inte vara revolutionerande – men det är inte troligt. Inga revolutioner har synts till under de senaste 37 åren men däremot en imponerande kontinuerlig evolution. Ett bränslecellssystem för att lagra (elektrisk) energi förutsätter en motorrevolution. Den fläkt som producerar större delen av dragkraften skulle kunna dras runt av en elmotor i stället för en gasturbin. Även om ett sådant system mot all förmodan skulle lämna ritborden före 2030 kommer det inte vara annat än ett kuriosum som inslag i flygplansflottan år 2050.

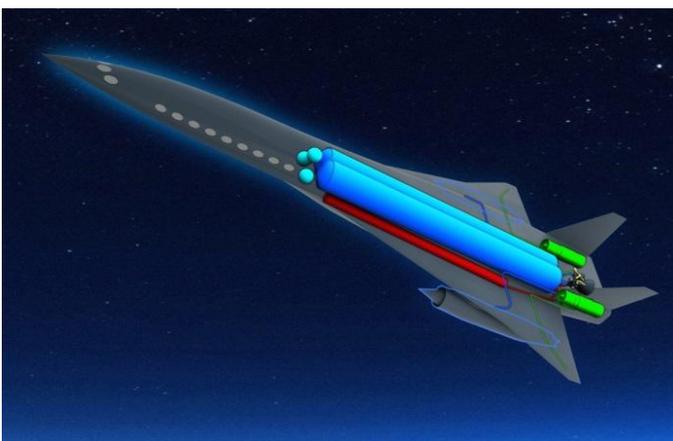
Med "blended wing body" menas diverse tecknade framtidsvisioner som dock varit just sådana under mycket lång tid utan att sätta några som helst spår i vad flygplanstillverkarna verkligen producerar. De senaste stora utvecklingsprojekten, Boeing 787 och Airbus 350, resulterade i flygplan som till det yttre bara med viss svårighet kan skiljas från sina 20 år äldre föregångare. Detta är egentligen föga förvånande. Flygplanstillverkarna har ägnat ett sekel åt att pröva sig fram till hur ett effektivt flygplan ska se ut. Det finns inte några nämnvärda drivkrafter i riktning mot konstruktionerna i figuren nedan.



Figur 19 "Blended wing body" från Airbus resp. Boeing

Källa: ATAG (2010)

Airbus' miljöanpassade "framtidflygplan" i Figur 19 ska dessutom ses mot bakgrund av att dess moderbolag EADS har en vision om ett delvis *raketdrivet* överljudsflygplan med det i sammanhanget missvisande namnet ZEHST (Zero Emission Hyper Sonic Transport).



Figur 20 EADS' överljudsflygplan ZEHST

Källa: <http://www.eads.com/eads/int/en/news/press.92323d58-24e5-4b71-aa1e-438e8c1289b0.4eb07896-3e59-4301-a243-e00d762cdb20.html>

Bränslet anges vara biobaserat jetbränsle för de konventionella motorer som används på låg höjd samt väte och syre, båda i flytande form, för planflykt. Marschhöjden uppges till 32 kilometer, dvs. långt upp i stratosfären där uppräkningsfaktorn (se avsnitt 7) sannolikt blir mycket hög för vattenånga. Raketerna används för huvuddelen av stigfasen. Förbränning av vätgas med syre ger inte upphov till kväveoxider i första steget men raketmotorer lämnar en så stor flamma efter sig att kvävet i den omgivande luften oxiderar. De konventionella jetmotorer som används ger dessutom utsläpp av kväveoxider och vattenånga även om de drivs med biobränsle. Över huvud taget framstår EADS' argumentation som helt föråldrad i nuvarande kunskapsläge och den bidrar inte till trovärdigheten hos dess dotterbolag Airbus.

IATA:s mål är sammanfattade till att efter 2020 ska flygtrafiken växa utan att dess koldioxidutsläpp växer och 2050 ska utsläppen vara noll. Inget av dessa mål kommer ens tillnärmelsevis att nås. Trots teknikfixeringen medger IATA att det dessutom behövs ekonomiska styrmedel i form av koldioxidkompensation. Man beräknar kostnaden för att kompensera 90 miljoner ton år 2025 till sju miljarder dollar, dvs. knappt 500 kronor per ton vilket är ungefär en tredjedel av det nu gällande långsiktiga ASEK-värdet.²⁶

5.3.2 Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe

ACARE är en internationell sammanslutning med nära 60 medlemmar som representerar stater samt flygbolag, organisationer och industrier inom flygsektorn.²⁷ Ordförande är Tom Enders, vd för Airbus. Organisationen är inriktad på teknisk forskning och utveckling. Man har antagit samma mål som IATA för 2020, dvs. därefter koldioxidneutral tillväxt, medan målet för 2050 avviker eller är omtolkat från IATA:s. År 2050 ska koldioxidutsläppen per personkilometer ha minskat med 75 % och samma år ska utsläppen vara hälften så stora som 2005 - en ansevärd diskrepans jämfört med IATA:s nollutsläpp.

I någon mån kan en avstämning med tidigare ACARE-visioner göras. År 2001 antog organisationen en vision för år 2020 med en mängd mål varav miljömålet var följande:

Environment

In 2020, aircraft are cleaner and quieter and the aeronautics sector's contribution to a sustainable environment is widely understood and appreciated. Many of its products are made of recyclable materials and have minimal environmental impact. Though hydrocarbon-based fuel is still the main source of energy, the range and volume of damaging emissions has been substantially reduced.

Figur 21 ACARE:s vision 2001

Källa: European Aeronautics: A Vision for 2020, ACARE 2001.

Avseende det sista delmålet, att utsläppen ska vara "substantially reduced", kan vi konstatera, när mer än halva tiden har gått, att utvecklingen inte ens går åt rätt håll. Målet kommer därför inte att nås. Såvida inte en ren revolution inträffar i fråga om tillgång på biobränsle kommer inte heller målet för 2050 att nås.

26 Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyler (ASEK) utarbetar sedan 1990-talet förslag till värden för inbesparade utsläpp av koldioxid och luftföroreningar, undvikta olyckor mm. Värdena fastställs av Trafikverket. Nu gällande värden finns i en serie rapporter på <http://www.trafikverket.se/Foretag/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/ASEK---arbetsgruppen-for-samhallsekonomiska-kalkyl--och-analysmetoder-inom-transportområdet/ASEK-5---rapporter/>. För koldioxid gäller 1:50 på lång sikt och 1:10 på kort sikt i 2013 års prismetod.

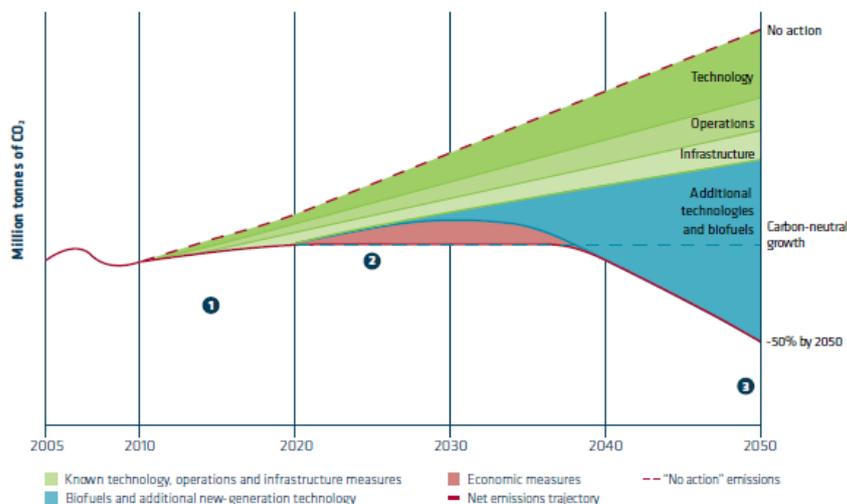
27 <http://www.acare4europe.org/about-acare>

5.3.3 Air Transport Action Group

ATAG är en sammanslutning av flygplanstillverkare, motortillverkare, flygplatshållare, fackföreningar mm, dock inga myndigheter. Organisationen har ett rykte om sig att handskas något vårdslöst med fakta om flygbranschens betydelse. Bland annat sprider man sedan mer än 20 år tillbaka uppgifter om civilflygets bidrag till BNP och andel av sysselsättning med – för att uttrycka sig mildt – lös anknytning till verkligheten.²⁸ Däremot tillhandahåller ATAG en hel del annat material med högre användbarhet. Inför FN:s klimatmöte i Doha 2012 levererade organisationen ett "Position Paper" med bl.a. följande figur, som därefter har fått viss spridning:²⁹

MAPPING OUT THE INDUSTRY COMMITMENTS

- ❶ improve fleet fuel efficiency by 1.5% per year from now until 2020
- ❷ cap net emissions from 2020 through carbon neutral growth
- ❸ by 2050, net aviation carbon emissions will be half of what they were in 2005



Figur 22 ATAG:s utsläppsprognos

Källa: ATAG (2012). Texten i nedre vänstra hörnet lyder "Schematic, indicative diagram only" och utelämnas ofta när bilden återges. Notera den oförklarade, rödfärgade puckeln mellan linjen "carbon neutral growth" och den lägsta av de prognosticerade utvecklingsvägarna fram till ca 2037.

Den undre kurvan som visas i figuren visade, med konstanta utsläpp från 2020 och halverade till 2050, kommer inte att inträffa. Detta är ATAG förmodligen medvetet om eftersom figuren försetts med brasklappen ovan.

²⁸ Bland annat hävdar man att trafikflyget sysselsätter 57 miljoner anställda i världen. Siffran framkommer genom att addera antalet direkt anställda i branschen (8,36 milj) med i tur och ordning indirekt, inducerat, turistikatalytiska och övrigt katalytiskt anställda. Samtliga utom direkt anställda är påhittade storheter. Man hävdar dessutom att en anställd i flygsektorn bidrar 3,5 gånger mer till BNP än andra anställda. Man påstår också att Bombardier C-series drar mindre än 0,03 liter per passagerarkilometer men som framgår av Tabell 4 drar CS300 0,03 per stolkilometer och enligt ATAG är genomsnittsbeläggningen i världsluften 78 % vilket ger 0,039 liter per personkm. <http://www.atag.org/facts-and-figures.html>

²⁹ A Sustainable Flightpath Towards Reducing Emissions, ATAG 2012.

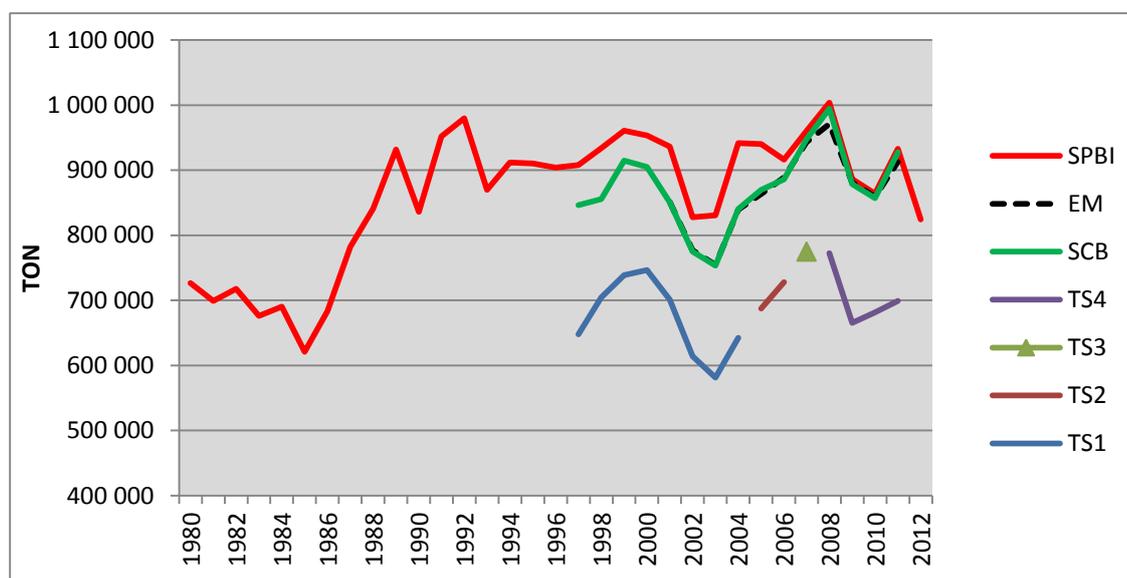
6 BRÄNSLEPRODUKTION OCH POTENTIAL

Avsnittet behandlar försäljningsvolym, produktionsmetoder, egenskaper och tillverkningspotentialer för olika bränslen.

6.1 Leveranser

Statistiken över sålda kvantiteter är motstridig. Svenska Petroleum- och Bränsleinstitutet, SPBI, har en tidsserie från 1946 benämnd "Flygbränsle mm". 1946 utgjordes i princip hela försäljningen av flygbensin medan den bara utgjorde någon procent 1980. Serien har mycket dålig korrelation med den civila flygtrafikens utveckling. År 2012 låg leveranserna 13 % över 1980 års leveranser medan inrikesflyget under samma period har ökat antalet personkilometer med 142 % och utrikesflygets passagerare har ökat med 500 %. Till detta finns många förklaringar varav en troligen är att flygvapnets förbrukning ingår. År 2012 fanns tre flygflottiljer (F7 Såtenäs, F17 Ronneby och F21 Luleå) medan det fanns 14 flottiljer vid utgången av 1980. Självklart har också bränsleeffektiviseringen av flygplansflottan inverkat.

SCB:s serie ligger under hela perioden under SPBI:s men de senaste åren är skillnaden bara någon procent. Energimyndigheten har en dataserie benämnd *Användning av flygbränsle* för inrikes och utrikes transporter som förutom åren 2008 och 2011 ligger inom en procent från SCB:s. Transportstyrelsens dataserie bygger på modellberäkningar från Totalförsvarets Forskningsinstitut, FOI. Denna serie började 1997 men omfattade då enbart de statliga flygplatserna. De icke-statliga infördes 2005. År 2007 togs skol- och privatflyg bort men dessa aktiviteter använder till helt övervägande del flygbensin. År 2011 reviderades beräkningsmodellen och nya data för 2008-2011 räknades fram. I diagrammet nedan benämns dessa serier TS1 (1997-2004), TS2 (2005-2006), TS3 (2007) och TS4 (2008-2011).



Figur 23 Leveranser av flygbränsle

Källa: SPBI:s hemsida, Energimyndigheten ES2012:01, PM från Transportstyrelsen. Data från SPBI och Energimyndigheten konverterade från m³ till ton med densiteten 0,8. SPBI = Petroleuminstitutet, EM = Energimyndigheten, SCB = Statistiska Centralbyrån, TS = Transportstyrelsen.

Den stora skillnaden mellan SCB:s och Transportstyrelsens serier utreds för närvarande av de inblandade organisationerna. I fortsättningen används Energimyndighetens serie eftersom denna finns uppdelad i inrikes och utrikes flyg:

Tabell 6 Bränsleåtgång i olika flygverksamheter

Bränsle i m ³	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INRIKES PERSON			264	251	245	246	218	191	212	212
INRIKES FRAKT			11	12	10	9	8	6	6	6
SUMMA INRIKES	256	287	275	263	255	255	225	198	219	218
UTRIKES PERSON			731	770	835	881	814	808	888	
UTRIKES FRAKT			72	78	89	78	62	69	56	
SUMMA UTRIKES	687	762	804	848	924	959	876	876	944	895
TOTALT	943	1049	1079	1111	1179	1214	1101	1074	1141	1108
INRIKES PKM milj	3170	3274	3328	3290	3248	3233	2886	2979	3354	3396
LITER PER PKM			0,079	0,076	0,075	0,076	0,076	0,064	0,063	0,062
INRIKES TONKM 000						8692	7051	6679	6509	6267
LITER PER TONKM						1,04	1,13	0,90	0,92	0,96

Källa: sammanställd från tabeller i ES 2012:01 och 2013:02, person- och tonkm från SOS Luftfart Den stora sänkningen mellan 2009 och 2010 går knappast att helt förklara med generella faktorer och kan delvis vara en följd av felaktigheter i statistiken.

Data finns inte för alla år. Troligen är data över den totala energiåtgången mer tillförlitliga än dess komponenter eftersom uppdelningen bygger på osäkra fördelningsnycklar. Förbättringen sedan 2005 är påtaglig men huvuddelen inträffar mellan 2009 och 2010 vilket kan tyda på ofullständigheter i statistiken.

Någon uppdelning av leveranserna på inrikes och utrikes trafik finns inte före 2003. Inte heller LFV hade sådan statistik. Det finns dock en ögonblicksbild avseende 1991, utförd av Sven Ernedal på dåvarande LFV Teknik 1992. Inrikesflygets bränsleförbrukning angavs där till 290 000 m³ av totalt sålda 697 000 m³ (denna nivå stämmer inte med SPBI:s serie i Figur 23 vilket troligen beror på att SPBI inkluderar militär förbrukning). Fördelat på 3,244 miljoner personkilometer, utan hänsyn till fraktens andel som även då var liten, ger detta 0,089 liter per pkm vilket låter mycket. Den sannolika förklaringen är att den kraftiga nedgången av inrikestrafiken 1990-91 (se Figur 1) ledde till påtagligt lägre belägningsgrader innan flygbolagen hann anpassa utbudet. Vid denna tid bedrevs också huvuddelen av inrikestrafiken av Linjeflyg som hade en enhetsflotta av relativt små och bränsleineffektiva Fokker 28-1000 och -4000 med 75-85 stolar. SAS flög vissa inrikeslinjer med DC9-21 och 41 med liknande egenskaper.

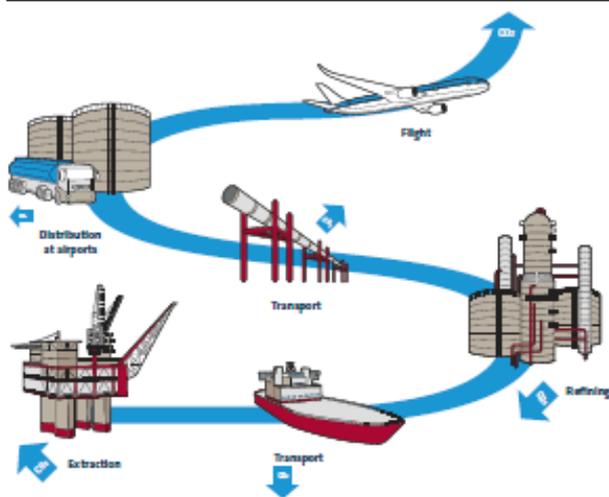
Statistiken över bränsleleveranser är oanvändbar för beräkningar av utrikestrafikens storlek i personkilometer. Åkerman (2012) analyserar problemet med att fastställa volymen av den svenska befolkningens utrikes resande samt tillhörande energiåtgång och utsläpp. Ett generellt problem med studien är att den baseras på data från resvaneundersökningen 2005/06 där osäkerheterna är stora.³⁰ Med reservation för detta kommer Åkerman fram till att transportarbetet i utrikesflyget (räknat till slutlig destination som inte är samma som i Figur 32) var 30,7 miljarder pkm. Energiåtgången var 0,49 kWh/km motsvarande 0,051 liter jetbränsle per pkm. Intuitivt stämmer detta bra med Tabell 6 där inrikesflyget ligger på 0,062 eftersom utrikestrafiken bedrivs med genomsnittligt större flygplan som är något bränsleeffektivare.

³⁰ RES 2005/06 baserades på 27 000 telefonintervjuer med ett bortfall på hela 33 % vilket reducerar informationsvärdet av resultaten i mycket hög grad. Metodiken har därefter försämrats ytterligare i sådan utsträckning att Transportstyrelsen inte längre anser det meningsfullt att medverka (uppgift från Håkan Brobeck, TS, 2012)

6.2 Traditionell raffinaderiproduktion

Jetbränsle är i likhet med dieselolja en traditionell raffinaderiprodukt, baserad på fotogen eller nafta. I processen från borrhål till tankning av flygplanet försvinner en del av ursprungsenergin i form av processförluster och transporter.

Carbon lifecycle diagram: fossil fuels



At each stage in the distribution chain, carbon dioxide is emitted through energy use by extraction, transport, etc.

Figur 24 Traditionell produktionskedja

Källa: ATAG (2011).

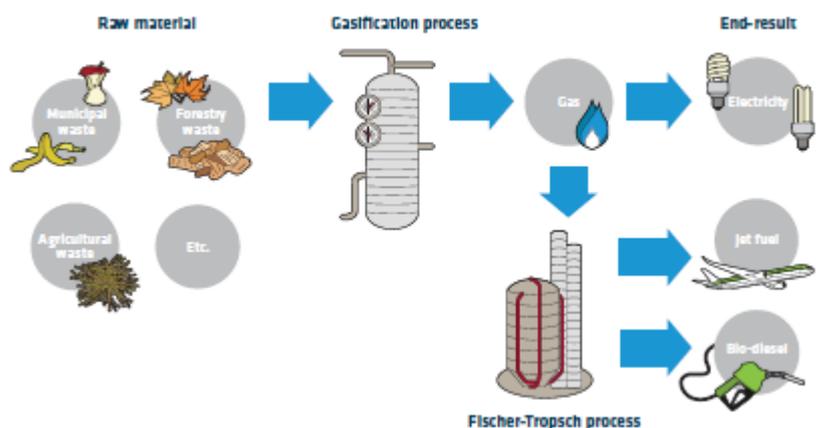
Som ovan nämnts är slutresultatet en blandning av olika kolväten med den ungefärliga genomsnittsmolekylen C_9H_{20} .

6.3 Konverteringsprocesser

Att konvertera ett fungerande bränsle till ett annat är något som inte bör göras utan starka skäl eftersom en hel del energi går förlorad i omvandlingen. Andra världskrigets gengasaggregat omvandlade träflis till huvudsakligen kolmonoxid vilket trots låg effektivitet var nödvändigt eftersom det inte fanns någon möjlighet att köra bilmotorer på flis. I Tyskland uppfanns på 1930-talet Fischer-Tropsch – processen (FT) som omvandlade stenkolk till motorbränslen. Metoden utvecklades sedan i det kolrika Sydafrika som under flera årtionden var avspärrat från import av bl.a. bränslen. Det går även att med denna metod använda fossilgas eller biogas som råvara. Båda består huvudsakligen av metan, CH_4 . Processerna benämns CTL (coal to liquid) respektive GTL (gas to liquid).

Ur det fossilfria samhällets perspektiv är produktion av jetbränsle via CTL direkt kontraproduktiv. Blinge (2007) anger energiförlusten i processen till runt 50 %. Detsamma gäller GTL baserad på fossilgas. I båda fallen har man ju via en energikrävande process ersatt den ursprungliga, fossila kolkomponenten i traditionellt jetbränsle med en lika fossil kolkomponent från stenkolk eller fossilgas - och dessutom tappat en hel del av det ursprungliga energiinnehållet under processens gång.

Om råvaran är biogas blir frågan om dess användbarhet mer komplicerad. Omvandling av *biomassa* till flytande bränsle benämns BTL (biomass to liquid) och innefattar att biomassan först omvandlas till syntesgas varefter denna FT-konverteras till flytande bränsle:



Figur 25 BTL-process

Källa: ATAG (2011).

BTL-processen ger syntesgas som mellanresultat och ur den kan metanol, DME, biogas och Fischer-Tropsch-diesel framställas. Biogasen kan användas i bilar och bussar men den mest miljöeffektiva användningen är troligen som fartygsbränsle. Dessa användningar kan använda långt mer biogas än vad som går att producera under överskådlig framtid. Det finns därför ingen anledning att överhuvud taget FT-konvertera biogas till flytande bränsle, jetbränsle eller annat, och till följd av sin låga effektivitet är en sådan process ett kontraproduktivt inslag i det fossilfria samhället.

6.4 Tillverkningspotential

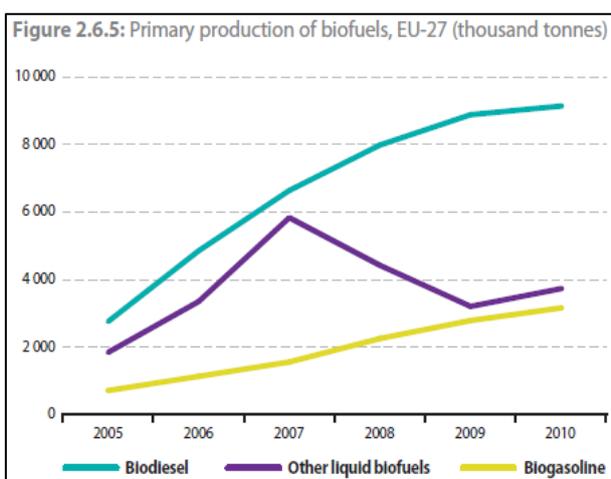
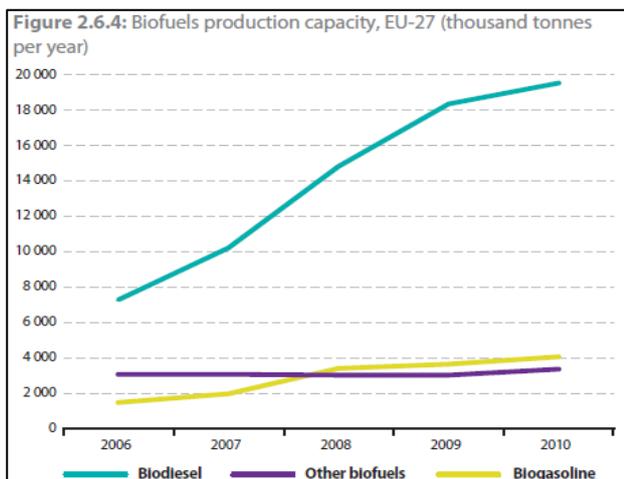
Råolja för tillverkning av jetbränsle kommer att finnas tillgänglig under överskådlig tid, om än till trendmässigt stigande pris. "Peak oil" och liknande teorier har visat sig sakna relevans åtminstone på den korta sikt som förespråkarna hävdade. I stort sett samtliga bedömare är överens om att peak oil redan har inträffat men man är inte riktigt överens om när det skedde vilket i sig är en märklig egenskap hos en förment katastrof. Slutsatsen är snarare att de redan upptäckta reserverna av råolja och fossilgas är så stora att de inte kan utnyttjas i sin helhet utan katastrofala klimateffekter. Att så är fallet för stenkol, där tillgångarna räknas i miljarder ton, är uppenbart.

För biobränslen är situationen helt annorlunda. Blinges (2007) genomgång av potentialen för biobränslen utmynnar i en bild som spräcker alla förhoppningar på biobränslen som den enda lösningen. Slutsatserna gällde dessutom inom EU15 medan utmaningen troligen är ännu större inom EU27.

- För att helt ersätta vägtrafikens bränsleförbrukning med biobränsle inom EU 15 behöver drygt två miljoner kvadratkilometer odlas upp med energiskog.
- För processen att omvandla råvaran till flytande bränsle krävs 800 anläggningar som var och en hanterar fem gånger så mycket råvara som ett stort nordiskt pappersbruk.
- Var och en av dessa behöver försörjas med en inkommande volym motsvarande 450 lastbilar per dygn.

Redan här står det klart att biobränslen bara kan bidra med en liten del av lösningen. Därmed uppstår frågan om denna del överhuvudtaget bör utsträckas till flygsektorn.

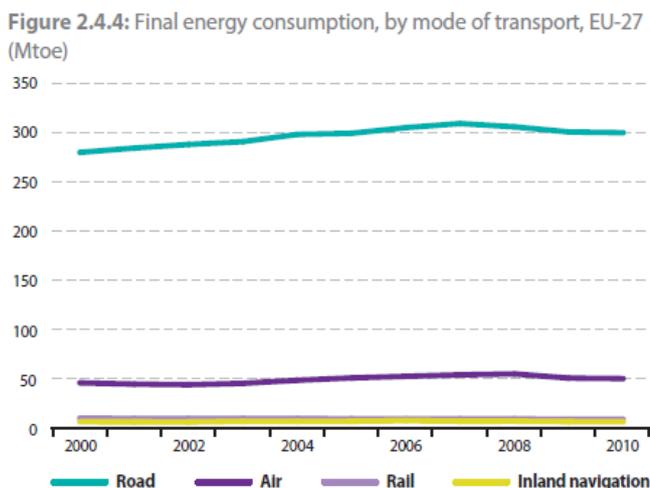
EU-statistiken ger möjlighet att jämföra aktuell produktionskapacitet och produktion av biobränslen:



Figur 26 Biobränslen, kapacitet och produktion i EU27, kiloton/år

Källa: Eurostat (2012). Avser enbart landtransporter.

Den sammanlagda produktionskapaciteten inom EU27 uppgick 2010 till 26,9 miljoner ton medan den totala produktionen inskränkte sig till 16,0 miljoner ton. Såväl kapacitet som produktion är betydligt större för biodiesel än för biobensin. Av samma källa framgår det att biobränsleproduktionen täckte 4,4 % av den totala bränslekonsumtionen på 363 miljoner ton 2010, dvs. produktionen behöver öka nästan 23 gånger för att täcka 100 %. Då är sjöfartens och flygets förbrukning inte inräknade och inte heller användningen av eldningsolja. Flygets och *kanalsjöfartens* andelar framgår av följande bild:



Figur 27 Energiåtgång för transporter i EU27

Källa: Eurostat (2012). Enheten är här ton oljeekvivalenter (toe), normalt definierad som 11,63 MWh vilket motsvarar cirka 1 300 liter bensin eller cirka 1 200 liter dieselolja eller jetbränsle.

Av den totala förbrukningen på 365 Mtoe 2010 svarade vägtrafiken för 300, flyget för 50, järnvägarna för 9 och kanalsjöfarten för 6.

6.5 Demonstrationsprojekt

Ett stort antal demonstrationsprojekt har genomförts i flygbolagsregi. I samtliga fall handlar det om att blanda in en liten andel biobränsle i fossilt jetbränsle:

- Continental Airlines gjorde i januari 2008 en kort flygning i ett tvåmotorigt plan där en av motorerna fick 50/50-blandning av fossilt och biobaserat jetbränsle.³¹
- Virgin Atlantic flög i februari 2008 över Atlanten med en fyrmotorig B747 där en av motorerna fick 20 % inblandning av biobränsle. Man planerade då att 2014 flyga helt på biobränsle vilket knappast kommer att realiseras.³²
- Air New Zealand meddelade i juni 2009 att man flugit med biobränsleinblandning och räknar med att ha 10 % inblandning i hela produktionen 2013. I mars 2013 finns inget spår av denna ambition på bolagets hemsida. Man påstod sig dessutom uppnå en inte obetydlig bränslebesparing med biobränsle vilket inte låter sig förklaras så lätt.³³
- Qatar Airways meddelade i oktober 2010 att man hade flugit från London till Doha med inblandning av GTL-baserat flygbränsle. Shell hade deltagit i utvecklingen och skulle 2012 börja sälja blandningen under namnet GTL Jet Fuel. I mars 2013 finns inget spår av detta bränsle i Shell Aviations produktkatalog. Dessutom är en GTL-process baserad på fossilgas direkt kontraproduktiv ur det fossilberoende samhällets perspektiv.³⁴
- En mer framgångsrik demonstration utfördes av Lufthansa under andra halvåret 2011 när man utförde 1 187 flygningar mellan Hamburg och Frankfurt där en av flygplanets två motorer drevs med en 50/50-blandning av fossilt och biobaserat bränsle.³⁵
- KLM experimenterade 2011 med begagnad frityrolja som bränsle. Frityrolja är av vegetabiliskt ursprung men tål inte kyla och måste därför raffineras innan den kan användas som flygbränsle. Den kan däremot nästan utan behandling användas som bränsle för uppvärmning och elproduktion och med måttlig behandling som dieselbränsle. Konvertering till flygbränsle är sannolikt den mest krävande och minst effektiva användningen av frityrolja.³⁶

Flygbranschen för ofta fram biobränsleproduktion från alger som en framtida möjlighet, bland annat i Virgins experiment ovan. Ibland påstås det vara möjligt att "mata" algerna med koldioxid från fossileldade kraftverk. Förutom det faktum att algbaserad bränsleproduktion inte finns i kommersiellt bruk gäller även här den generella invändningen att det inte finns någon process vars slutresultat är enbart flygbränsle. Algbaserat bränsle kan i likhet med alla andra biobränslen som är användbara för flyg också användas i dieselmotorer – eller för att ersätta fossileldad elproduktion vilket är effektivare och enklare. En fördel med alger som bas kan vara att verksamheten inte konkurrerar om jordbruksmark. Drivande kraft är European Algae Biomass Association som dock ännu inte har en enda rapport under rubriken Forskningsrapporter på sin hemsida.³⁷ Ett viktigt memento är också att odlingen är fotosyntesbaserad, dvs. slutproduktens energiinnehåll är i praktiken lagrad solenergi. Storskalig produktion av algbaserat bränsle kommer därför att kräva mycket stora vattenytor.

De slutsatser flygbolag och tillverkare kan dra från demonstrationsflygningar av ovanstående slag är inte uppenbara. Att som Continental flyga en dryg timme och låta en av två motorer gå på hälften biobränsle tillför knappast några lärdomar utöver vad man redan vet från tester i laboriemiljö. Motivet bakom aktiviteterna är snarare att dra till sig uppmärksamhet och visa att man tar miljöfrågan på allvar. Detta behov är i sin tur en följd av flygbranschens mycket välmotiverade misstro mot politikernas och journalisters vilja och förmåga att korrekt beskriva flygets miljöproblem och vad man gör för att motverka dessa. I Sverige är problemet påtagligt. Flyg beskrivs ofta som det mest energikrävande transportslaget trots att höghastighetsfärjor drar 3-4 gånger mer; redan 1990 förde dåvarande miljöministern fram ett förbud mot inrikesflyg under 50 mil, ett inrikesflyg som inte sträcker sig söder om Sundsvall förs ibland fram på fullt allvar och ofantliga investeringar i höghastighetsjärnvägar påstås till stor del kunna motiveras med trafiköverföring från flyg. Ett flygbolag som köper in extra utsläppsrätter eller inför en frivillig koldioxidavgift får

³¹ <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=6852>

³² <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=6008>

³³ <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=7284>

³⁴ <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=7556>

³⁵ <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=9018>

³⁶ DN 2011-06-28 KLM flyger med gammal frityrolja i tanken.

³⁷ <http://www.eaba-association.eu>.

knappast någon uppmärksamhet. Ett flygbolag som under stort mediepådrag blandar en liten del alternativt bränsle av oklart eller till och med fossilt ursprung i en av tankarna får däremot stort utrymme i massmedia.

6.6 Slutsatser angående alternativa bränslen

- ✚ Det finns inte, och kommer inte att finnas, någon process vars slutresultat enbart är flygbränsle. Om slutprodukten är användbar som flygbränsle kan den utan undantag användas som dieselolja eller eldningsolja.
- ✚ För att ersätta nuvarande användning av fossila bränslen inom EU27 krävs enbart för marktransport en mer än tjugofaldig ökning av biobränsleproduktionen. Till detta räcker inte biomassan på långt när.
- ✚ Det finns inga som helst möjligheter att ersätta mer än en liten del av de dieselbränslen som nu används i marktransporter och sjöfart med biobaserade bränslen. Varken biomassan eller processkapaciteten räcker till.
- ✚ Ytterst få biobränslen lämpar sig för flyg. Närmast till hands ligger låginblandning av hydrerade vegetabiliska oljor (HVO) men det lägre energiinnehållet kräver sannolikt kostsamma ombyggnader.
- ✚ På kort till medellång sikt finns det följaktligen ingen anledning att använda biobränsle i flyg. Varje sådan användning undantränger mark- eller sjöbaserade användningar som *utan undantag* har lika stor klimateffekt och i många fall större.
- ✚ Biobränsle i flyg påverkar enbart utsläppen av koldioxid och svaveldioxid. Partikelutsläpp påverkas inte.
- ✚ Om biobränslet har en kol/väterelation med högre vätgasandel än i det ersatta fossila bränslet är detta en fördel i alla användningar utom i flyg eftersom vätgasen bildar vattenånga med negativa effekter på hög höjd.
- ✚ Att omvandla ett fungerande bränsle till ett annat är generellt sett förkastligt så länge det finns avsättning för bränslet i dess ursprungliga form. Konvertering till flygbränsle är inget undantag.
- ✚ Slutsatsen i Flygets Miljökommittés slutrapport från 2007 var att all forskning om vätgasdrivna flygplan är meningslös. Om vätgas någonsin blir tillgängligt som ett allmänt användbart bränsle dröjer det så länge att den motorteknologi man nu forskar på kommer att vara helt föråldrad. Dessutom finns det troligen inte någon sämre plats att förbränna vätgas på än i en jetmotor på hög höjd. Dessa slutsatser kommer att stå sig länge.
- ✚ Eftersom flygbranschen hyser en högst befogad misstro mot politikerns och medias förmåga och intresse av att sätta sig in i fakta kommer man trots ovanstående att lägga stora resurser på att demonstrationsflyga med olika biobränslen bara för att visa "att man gör något". Det är viktigt att dessa aktiviteter inte uppmuntras från politiskt håll eftersom de inte på något sätt för samhället närmare ett fossiloberoende.
- ✚ Målet om att Sverige ska vara helt fossiloberoende till 2050 kommer inte att nås för flygets del. Till 2050, men inte 2030, är det dock möjligt att biobränslepotentialen ökat och den totala energianvändningen minskat i sådan grad att betydande mängder biobränsle kan finnas tillgängliga för flygsektorn. I så fall går det också att motivera de investeringar som krävs för att använda det närmast till hands liggande produktsegmentet som troligen är HVO.

6.7 Prognos för bränsleleveranser

Av Figur 2 framgår att Trafikverkets mittenprognos innebär att antalet personkilometer i inrikestrafik ökar med ca 13 % från 2012 till 2030. En bedömning av den specifika bränsleåtgångens utveckling under samma tid finns i avsnitt 4.5 och utmynnar i en ungefär tioprocentig förbättring. Man kan därför anta att bränsleåtgången i inrikesflyget, givet förutsättningarna ovan och konstant belägningsgrad, blir ungefär oförändrad eller mycket svagt ökande under samma tid. Av Tabell 6 framgår att nivån under flera år legat kring 210 000 m³ (2 TWh) per år och man kan därmed förvänta sig en nivå kring 220 000 m³ år 2030. Därtill kommer några tusen m³ för inrikes fraktflyg som dock är en ytterst liten verksamhet.

För utrikesflyget blir frågan mer komplicerad. Förutom trafikprognos, teknisk effektivisering och belägningsgrad tillkommer här att benägenheten att tanka i Sverige kan variera över tiden. För långa flyglinjer finns inget alternativ till att tanka hela åtgången före avfärd från Sverige men på kortare utrikeslinjer är det möjligt att "rundtanka" så att åtminstone två flygningar klaras på samma tankning. Var denna sker styrs huvudsakligen av bränslepriser. Trafikprognosen i Figur 3 är dessutom uttrycket i antal passagerare eftersom statistik över personkilometer saknas.

I Figur 3 ökar utrikestrafiken med 48 % från 2012 till 2030, dvs. med 2,2 % per år vilket för övrigt ligger långt under flygplanstillverkarnas prognoser. Det är uteslutet att den tekniska effektiviseringen kan hålla jämna steg med en sådan utveckling. Författarens gissning är att en enprocentig årlig förbättring, dvs. 20 % till 2030, möjligen kan nås. Det blir då nära 30 % nettoökning kvar. Tillämpat på Energimyndighetens tidsserie över leveranser till utrikesflyg i Tabell 6 blir nivån år 2030 ca 1,15 miljoner m³ (11 TWh), dvs. ca 250 000 m³ över 2012 års nivå. Denna saknas i tabellen men kan antas ligga någon procent över 2011 års, dvs. ca 900 000 m³. Dessutom tillkommer leveranser till fraktflyg som 2011 uppgick till 56 000 m³ (0,5 TWh).

Det sammanlagda bränslebehovet för flyg år 2030 kan följaktligen bedömas till ca 1,3 – 1,4 miljoner m³, motsvarande 11,5 – 13,4 TWh.

7 ANDRA KLIMATGASER

Avsnittet är inriktat på att redovisa aktuellt kunskapsläge, inte på att ge rekommendationer.³⁸

Utsläppen från flyg åren 2010 - 2011 uppgick till följande:

Tabell 7 Utsläpp 2010 och 2011

	2010	2011
Koldioxid (CO ₂), tusen ton		
Inrikes	397	415
Utrikes	1 756	1 795
Nationellt	1 313	1 356
Kväveoxider (NO _x), ton		
Inrikes	1 297	1 351
Utrikes	6 117	6 339
Nationellt	4 392	4 572
Svaveldioxid (SO ₂), ton		
Inrikes	126	131
Utrikes	556	568
Nationellt	416	429
Kolmonoxid (CO), ton		
Inrikes	1 614	1 805
Utrikes	5 188	5 701
Nationellt	4 735	5 220
Ofullständigt förbrända kolväten (HC), ton		
Inrikes	137	157
Utrikes	444	460
Nationellt	466	497

Källa: SOS Luftfart 2011. Obs att "Nationellt" är i svenskt luftrum, inte summan av inrikes och utrikes. Utrikes är halva distansen till/från första destination.

Inrikes utsläpp av koldioxid 2010, 397 000 ton, motsvarar 197 000 kubikmeter bränsle vilket stämmer väl överens med summan av fraktrafik och persontrafik i Tabell 6.

När det gäller koldioxid råder viss oenighet i forskarsamhället angående hur stora effekterna är på klimatet men det råder fullständig enighet om att det inte spelar någon roll var på jordklotet eller på vilken höjd utsläppen sker. Koldioxid har effekter på alla nivåer – lokalt, regionalt och globalt – men storleken på dessa effekter påverkas inte av var på jordklotet eller på vilken höjd över markytan som själva utsläppen sker eftersom halten snabbt utjämnas till den globala, år 2013 cirka 396 ppm). För andra komponenter i avgasutsläpp från flygplan kan däremot klimateffekterna variera beroende på utsläppshöjd. Det råder i stort sett enighet om att effekterna av bland annat vattenånga och kväveoxider är högre nära tropopausen som är gränsen mellan troposfären och stratosfären. Tropopausen indikeras av att temperaturens variation med höjden där byter riktning. Medan temperaturen i troposfären i genomsnitt sjunker med 6,5 grader per 1 000 meter ökar den när tropopausen har passerats. Denna höjd varierar mellan cirka 15 kilometer vid ekvatorn och 10 km vid polerna. I Sverige kan man räkna med 12 km i genomsnitt. Inget inrikesflyg hinner upp på denna höjd och en stor del flygs av turbopropflygplan med 7 500 meter som högsta tillåtna höjd.³⁹

En av de senaste genomgångarna av frågan finns i Azar & Johansson (2012). Effekterna är komplicerade:

- Utsläpp av kväveoxider (NO_x) förvärrar koncentrationen av ozon (O₃) vilket leder till uppvärmning, men

³⁸ Tack till Christian Azar, Chalmers, för upprepade förbättringar av texten.

³⁹ SAAB 2000 och några få andra typer klarar dock högre höjd. Gränsen, egentligen 25 000 fot = 7 620 m är av gammalt datum och betingad av att för högre höjd kräver regelverket automatiskt nedfallande syrgasmasker, ett dyrt och tungt system.

- kväveoxider förstör metan (CH₄) som är en kraftfull växthusgas och därmed fås en avkylande effekt som
 - i sin tur minskar halten av ozon och leder till ytterligare avkylning.

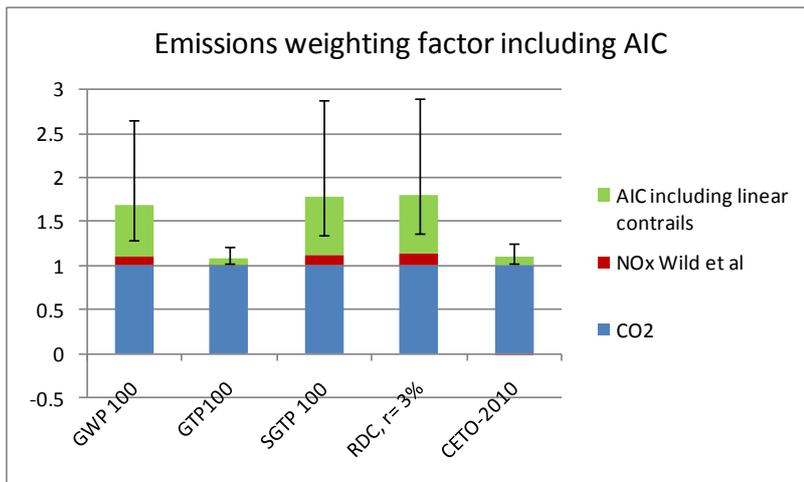
Nettoeffekten av dessa processer är osäker (*"These changes in the atmospheric concentration of trace gases imply both a positive and negative forcing of the climate, the global average net effect of which depends on both the time scale and the atmospheric chemistry model."*)

Utsläppen av vattenånga är på samma sätt som koldioxid direkt proportionella mot bränsleåtgången, 1,13 kilo per liter bränsle (se avsnitt 5.1). I gasfas har vattenången en växthuseffekt. På hög höjd, i regel minst 8 000 meter, och i kombination med temperatur under cirka 40 minusgrader kondenserar ången snabbt till vatten med hjälp av de kondensationskärnor som motorns partikelutsläpp utgör och övergår sedan till iskristaller som bildar synliga kondensstrimmor. I dessa strimmor ingår också redan befintlig vattenånga som kondenserar på de kondensationskärnor flygplanet släpper ut. Beroende på väderförhållanden kan strimmorna lösas upp inom några minuter eller ligga kvar i timmar. I vissa fall kan ansamlingar av kondensstrimmor vid högtrafikerade brytpunkter i lufrummet bilda sammanhängande cirrusmoln med lång varaktighet. Dessa reflekterar inkommande solstrålning men också utgående långvägig värmestrålning från jordklotet. Den första, avkylande effekten minskar på vintern och upphör på natten medan den andra, uppvärmande, inte varierar över dygnet och året. Nettoeffekten över året blir en uppvärmning.

För att beräkna flygets totala klimatpåverkan i relation till dess koldioxidutsläpp måste man använda en slags omräkningsfaktor, en metrik, där olika gasers klimatpåverkan kan jämföras. Azar & Johansson använder fem olika mått, tre fysiska och två ekonomiska, för att uppskatta flygets klimatpåverkan och effekten av kondensstrimmor och NO_x i relation till CO₂:

- ❖ The Global Warming Potential (GWP) metric is a measure of the integrated radiative forcing from the emission of 1 kg of a gas, say CH₄, compared to the integrated radiative forcing of 1 kg of CO₂.
- ❖ The Global Temperature change Potential (GTP) is a measure of the temperature response at time H from a kg of gas X emitted at present, divided by the temperature response at time H from a kg of emission of CO₂ at present. It should be noted that whereas GWP is an integrated measure (the contribution each year is taken into account with equal weight), GTP only looks at the temperature response in the end-year. The 100-year GTP value for CH₄ is thus significantly lower than its corresponding GWP value (since the perturbation life time of methane is around 12 years).
- ❖ The Sustained GTP (SGTP) metric is defined as the temperature response at time H following the sustained (constant) emission of 1 kg of gas X per year, divided by the temperature response at time H from constant emissions of 1 kg CO₂ per year.
- ❖ Relative Damage Cost (RDC). RDC is defined as the ratio of the climate damage in economic terms from emission of 1 kg of greenhouse gas X compared to the climate damage in economic terms of the emission of 1 kg of CO₂.
- ❖ Cost-Effective Trade-Off (CETO). CETO is defined as the ratio of the shadow prices of the emission of 1 kg of greenhouse gas X to the shadow price of 1 kg of CO₂, under the assumption that a specific climate target should be met at the lowest possible cost.

Resultatet av studien är en uppräkningsfaktor i form av ett tal som koldioxidutsläppen ska multipliceras med för att beskriva den totala effekten av koldioxid plus andra utsläpp på hög höjd (observera att koldioxiden i sig inte har någon höjdeffekt). Författarnas huvudalternativ är GWP som ligger på 1,7 med ett osäkerhetsintervall på 1,2 – 2,7. Valet av tidshorisont har mycket stor betydelse för vilket värde man får. I siffrorna ovan och i figuren har en tidshorisont på 100 år använts.



Figur 28 Uppräkningsfaktorer inklusive flygplansinducerade cirrusmoln

Källa: Azar & Johansson (2012) figur 7. Lodräta streck är osäkerhetsintervall. Dessa hänför sig enbart till cirrusmolnens effekter.

Uppskattningarna gäller för det globala flyget och är således inte direkt applicerbara på enskilda flygningar. Värdet för en specifik flygning beror på flyghöjd, natt eller dag, vinter eller sommar och de meteorologiska förhållandena. Generellt kan man dock säga att för flygresor som Stockholm-Göteborg bör ingen uppräkningsfaktor tillämpas eftersom man inte hinner upp på tillräckligt stor höjd (Azars formulering). Om det fanns jettrafik på längre sträckor, t.ex. Malmö-Kiruna, skulle saken kunna komma i ett annat läge. Till följd av inrikesflygets utpräglade nav-eker – struktur finns ingen sådan direkttrafik.

8 STYRMEDEL

Några styrmedel som är direkt riktade mot flygets koldioxidutsläpp har egentligen inte funnits i Sverige. Mellan 1978 och 1993 fanns en betydande skatt på charterresor som mot slutet av perioden uppgick till 300 kronor per avresande passagerare över tolv år. Motivet här var att de indirekta skatterna (bl.a. moms) på semestervistelser i Sverige var mycket högre än utomlands och denna konkurrensnackdel för den svenska turismnäringen borde minskas med en skatt. Effekten av denna charterskatt tycks aldrig ha studerats närmare.

8.1 Tidigare svenska erfarenheter

Under åren 1989 – 1996 fanns en primitiv ”avgasavgift” på huvuddelen av inrikesflyget.⁴⁰ Avgiften togs ut med ett fast belopp per flygning, oavsett sträckans längd, vilket direkt diskvalificerade den som miljöavgift. Enligt Luftfartsverket var den var beräknad på ett genomsnitt men det är oklart om man därmed avsåg den genomsnittliga flyglinjen, den genomsnittliga flygningen eller den genomsnittliga flygresan. Linjeflyg flög fram till början av 1990-talet när det uppgick i SAS många linjer med en enhetsflotta av Fokker 28-1000 och -4000, drivna av förhållandevis omoderna Rolls Royce Spey – motorer. Vid avgiftens införande byggde bolaget om brännkammarna i dessa motorer vilket gav lägre utsläpp av kväveoxider och lägre avgift men troligen skulle man ha gjort detta i alla fall. Man kan lätt se ett generellt mönster för denna typ av skatter eller avgifter. Om syftet är att de ska vara styrande kommer förespråkarna att överdriva styreffekten medan avgiftsbetalarna hävdar att styreffekten är obetydlig eller saknas helt. Om syftet är rent finansiellt blir det precis tvärtom, dvs. förespråkarna bagatelliserar styreffekten och motståndarna överdriver den.

Att analysera effekter kan vara nog så komplicerat. En vanlig men felaktig analys är att en koldioxidavgift som baseras på verkliga utsläpp skulle få flygbolag med gamla flygplan att snabbare byta dessa mot nya med lägre utsläpp. Denna analys bortser från att flygplan köps, säljs och leasas på en fungerande marknad. Koldioxidavgiften kommer därmed att sänka marknadsvärdet på gamla plan (i någon mån motverkas detta om flygplanen kan exporteras utanför avgiftsområdet). Om marknaden tror att avgiften blir bestående motsvarar sänkningen av marknadsvärdet ungefär nuvärdet av de framtida koldioxidavgifterna. Bolag med gamla plan kan välja mellan att byta plan och ta en engångs kapitalförlust eller att behålla planet och ta den löpande fördyring som koldioxidavgiften medför - men de kan inte undvika kostnaden. Avgiften medför därför inte något större incitament att byta plan tidigare än planerat men däremot att välja rätt plan när man väl byter.

8.2 Utländska erfarenheter

EU:s mål är att, jämfört med 1990 nivå, minska koldioxidutsläppen med 20 % till 2020 och 80 % till 2050. För transportsektorn finns ett mindre ambitiöst mål på 60 % reduktion till 2050. Eftersom transportsektorn ingår i 80-procentsmålet måste övriga sektorer minska något mer än 80 %. Reduktionskraven är inte jämnt fördelade över medlemsländerna och vissa länder har kompletterande nationella mål. Sveriges mål om fossiloberoende fordonsflotta år 2030 är unikt.

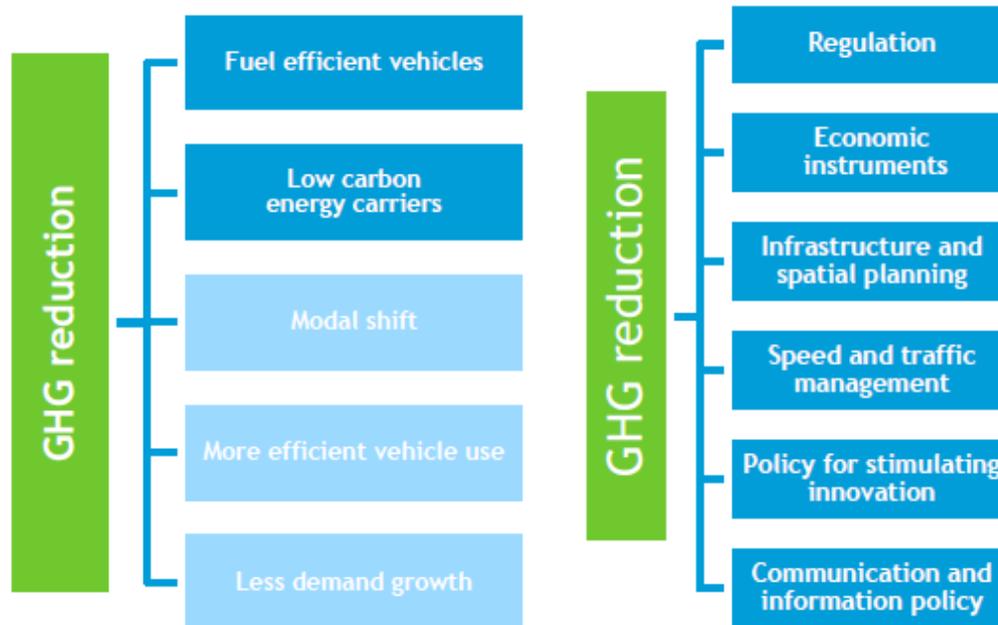
⁴⁰ Lag(1988:1567) om miljöskatt på inrikes flygtrafik, upphävd 1997-01-01.

Country	EU goal for 2020 emissions relative to 2005 (Decision 406/2009)	Additional National goal 2020 ⁶	National goal for transport
Germany	-14%	-40% relative to 1990 (35% relative to 2005)	--
Denmark	-20%	-40% relative to 1990 (36% relative to 2005)	--
France	-14%	--	--
Hungary	+10%	--	--
Italy	-13%	--	--
Netherlands	-16%	--	--
Poland	+14%	--	--
Spain	-10%	--	--
Sweden	-17%	-40% relative to 1990 (36% relative to 2005)	In 2030 independent of fossil fuels
UK	-16%	-80% in 2050 relative to 1990 (76% relative to 2005)	

Figur 29 EU-mål och nationella mål för tio länder

Källa: CE Delft (2012 a). För UK ska reduktionsmålet vara i högra kolumnen.

Olika metoder att uppnå målen finns också redovisade i Delft (2012 a):



Figur 30 Metoder att minska transporterens kolinnehåll + styrmedel

Källa: Delft (2012 a).

Den högra delen av Figur 30 ska ses som styrmedel för att nå var och en av kolreduktionsmetoderna i figurens vänstra del. Uppenbarligen är inte alla styrmedel lämpliga för alla reduktionsmetoder.

Inget EU-land tar ut skatt eller moms på flygbränsle, varken inrikes eller utrikes. Däremot förekommer olika former av ”flygskatter”:

Tabell 8 Flygskatter i olika länder 2012

	Ticket tax?	Details		
Germany	Yes	Intra EU: € 8	Intercontinental: € 25 (up to 6,000 km) € 45 (more than 6,000 km)	
Denmark	No			
Spain	No			
France	Yes	<i>Economy class:</i> € 1 (intra EU) € 4 (intercontinental)	<i>Business class:</i> € 10 (intra EU) € 40 (intercontinental)	
Hungary	No			
Italy	No			
Netherlands	No	Ticket tax was introduced in 2008 and discarded in 2009		
Poland	No			
Sweden	No			
UK	Yes		<i>Economy class</i>	<i>Business class</i>
		0 to 2,000 miles	€ 15	€ 30
		2,001 to 4,000 miles	€ 75	€ 150
		4,001 to 6,000	€ 93	€ 187
		over 6,000 miles	€ 106	€ 212

Källa: CE Delft (2012 a). "Intra EU" definieras olika i olika länder, se källan. Endast avresande passagerare.

Av tabellen framgår att framför allt UK tar ut ansenliga skatter på långa resor, upp till 212 euro i affärsklass på sträckor över 6 000 miles.⁴¹ Flera länder har öronmärkt skatteintäkterna för speciella ändamål. Delft-rapporten utmynnår i följande rekommendation för flygsektorn:

Aviation, the fastest growing transport mode, is exempted from fuel taxes (and VAT), mainly because of international conventions. However, Member States can introduce these for flights within the country or make bilateral agreements with other Member States. Another option is the introduction of ticket taxes as already done by a few Member States. When differentiated, these can also provide incentives to reduce flight distances and resulting emissions.

När det gäller det generella målet kommer rapporten till en dyster slutsats: EU:s 60-procentsmål för transportsektorn kommer med nuvarande politik *knappast att nås i något av medlemsländerna*.

8.3 Flyget i EU:s handel med utsläppsrätter

Sjöfart och flyg ingår inte i EU:s åtaganden enligt Kyotoprotokollet men täcks av EU:s Emission Trading Scheme, ETS. Systemet omfattar EU 27 plus Island, Liechtenstein och Norge, dvs. 30 länder. Liechtenstein har dock ingen flygplats. Det ursprungliga förslaget kom från EU-kommissionen år 2006.

Fördelningsprinciperna är följande:⁴²

- År 2012 tilldelades sektorn 97 % av medelutsläppen 2004-2006 som var 219 miljoner ton.
- Åren 2013-2020 tilldelas sektorn 95 % av samma underlag.

⁴¹ Av källan framgår det inte om "miles" syftar på "statute mile", 1,609 km, eller distansminut som flyget använder, 1,852 km. Oavsett vilket är ytterst få flygsträckor längre än 6 000.

⁴² Svenska tillämpningsföreskrifter finns på <http://www.utslappshandel.se/sv/Utslappshandel/topmeny/Flygoperator/>

- 15 % av utsläppsrätterna auktioneras ut
- 82 % tilldelas gratis
- 3 % reserveras för nya deltagare och operatörer med stor tillväxt.

Flyget inom EU kom med den 1 januari 2012 vilket ledde till en mängd protester från främst amerikanska och asiatiska flygbolag.⁴³ Motståndet fick ganska snabbt EU att ge upp och den 13 november 2012 tillkännagavs ett ”tillfälligt” stopp för utsläppshandel avseende trafik utanför EU. Detaljerna finns förklarade i ett pressmeddelande från Naturvårdsverket den 1 mars 2013.⁴⁴ Enligt en färsk analys från CE Delft (2012 b) innebär stoppet en betydande finansiell nettovinst för berörda flygbolag. Genom att utsläppshandeln gällde alla flygbolag kunde de gemensamt höja priserna för att täcka kostnader som de nu inte längre har. EU-ministerrådet beslutade den 20 mars 2013 att permanenta det tillfälliga stoppet.⁴⁵

Eftersom historiken är kort finns det ännu inga utvärderingar. Prisnivåerna inom ETS är dessutom så låga att effekten inte är märkbar. I mars 2013 ligger priset på cirka fem öre per kilo motsvarande ungefär en procent av bränslepriset. De analyser som gjordes före införandet tenderade att måla upp skräckscenarier å flygbolagens vägnar. Det i flygbranschen välkända analysföretaget OAG Aviation gjorde dock en mer seriös analys (OAG 2012) som utmynnar i att den genomsnittliga effekten på biljettpriset blir en höjning med 3 %. Det framgår dock inte klart vilken prisnivå på utsläppsrätter som är kopplad till detta resultat.

För den europeiska industrin begränsas användbarheten av ETS i någon mån av ”kolläckage”, dvs. risken att industrin flyttar utomlands till ”koldioxidparadis” vid för höga prisnivåer. Denna risk finns inte för flyget, även om den antyds i OAG (2012), eftersom passagerarna inte flyttar. Det är i och för sig fullt möjligt att ett flygbolag som nu bedriver trafik över EU:s eller ETS’ gräns övergår till att förlägga verksamheten helt utanför ETS om kostnaderna för utsläppsrätterna inte kan övervältras på passagerarna i tillräcklig grad. I så fall indikerar detta att trafiken inte kan bära sina miljökostnader och i då bör den inte heller bedrivas. Den totala flygtrafiken ökar inte genom flytten – den marknad utanför ETS som bolaget flyttar in på är ju av given storlek – och därmed är denna åtgärd inte ett läckage utan snarare en önskvärd följd av ETS. Att hela flygnav skulle flytta till följd av skatten kan betraktas som uteslutet. De fördelar som motiverar nav- eller trafik kan inte uppvägas av någon rimlig prisnivå på utsläppsrätter.

8.4 Bränsleskatter

Eftersom utsläppen av koldioxid är direkt proportionella mot bränsleåtgången och kolinnehållet i fossilt flygbränsle är detsamma över hela världen skulle en koldioxidavgift per liter bränsle vara en perfekt metod att internalisera utsläppskostnaden. Om denna anses vara lika med nuvarande långsiktiga ASEK-värde, ca 1:50 per kg CO₂, behöver avgiften vara 1,50 x 2,52 = ca 3:78 per liter, förutsatt att ingen del av den externa kostnaden är internaliserad på andra sätt, t.ex. genom utsläppshandel ovan.

Enligt ICAO:s uppfattning strider dock en avgift som är baserad på bränslekvantitet (”bränsleskatt”) mot artikel 24 i 1944 års Chicagokonvention, grunden för ICAO.⁴⁶ Naturvårdsverket (bland annat Lars Westermarck som på då arbetade med flygfrågor) ifrågasatte dock redan i början av 1990-talet om konventionen verkligen kunde tolkas dithän. Dessutom var koldioxidutsläpp ett okänt problem när konventionen skrevs och den omständigheten att en koldioxidavgift får samma egenskaper som en bränsleskatt innebär inte självklart att den ska betraktas som en sådan.

⁴³ Enligt Hart (2013) hade EU-kommissionären Connie Hedegaard tröttnat på att ICAO ”förhalat frågan i 15 år”.

⁴⁴ <http://www.naturvardsverket.se/Nyheter-och-pressmeddelanden/Tillfalligt-undantag-i-utslappshandel/> Ett frågor-och-svar – dokument om utsläppshandel för flyg finns på http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/aviation/faq_en.htm.

⁴⁵ http://www.infrastrukturnyheter.se/2013/03/eu-fryser-inf-rlivning-av-flyg-i-utslappshandel?utm_source=Paloma&utm_medium=Newsletter&utm_campaign=Nyhetsbrev+-+Infrastruktur+-+Ny+chans+f%c3%b6r+Nya+Slussen...

⁴⁶ Uppfattningen framförs bland annat i ICAO Working Paper A35/95 men detta är författat av IATA, en organisation för de större flygbolagen.

Article 24

Customs duty

a) Aircraft on a flight to, from, or across the territory of another contracting State shall be admitted temporarily free of duty, subject to the customs regulations of the State. Fuel, lubricating oils, spare parts, regular equipment and aircraft stores on board an aircraft of a contracting State, on arrival in the territory of another contracting State and retained on board on leaving the territory of that State shall be exempt from customs duty, inspection fees or similar national or local duties and charges. This exemption shall not apply to any quantities or articles unloaded, except in accordance with the customs regulations of the State, which may require that they shall be kept under customs supervision.

Figur 31 Chicagokonventionens artikel 24

Källa: ICAO Doc. 7300/9, dvs. nionde upplagan av konventionen.

ICAO:s ställningstaganden måste dessutom ses mot bakgrund av att organisationens kompetens på det samhällsvetenskapliga området är begränsad;⁴⁷ dock gäller inte detta dess miljökommitté CAEP (Committee on Aviation Environmental Protection). Det ligger utanför ramen för denna rapport att avgöra frågan men det är viktigt att ICAO:s uppfattning inte betraktas som en vedertagen sanning.

8.5 CRCO-baserad avgift

Eurocontrol är ett samarbetsorgan för flygledning i Europa, bestående av 39 stater plus EU som organisation. En del av Eurocontrol är Central Route Charges Office, CRCO. Dess uppgift är att debitera en sträckberoende avgift på allt flyg inom CRCO-området. Denna undervägsavgift består av en pridfaktor, en avståndsfaktor och en viktfaktor som är multiplicerade med varandra. Pridfaktorn ("unit rate") bestäms av varje land för sig och är i Sverige i mars 2013 78,23 euro.⁴⁸ Avståndsfaktorn är storcirkelavståndet inom svenskt luftrum minus 20 kilometer per start eller landning och delat med 100. Viktfaktorn är roten ur 1/50 av flygplanets maximala startvikt. Följaktligen kostar det 78,23 euro att flyga 100 kilometer i svenskt luftrum med ett 50 tons flygplan om det inte startar eller landar i Sverige. Med ett 100-tons flygplan blir viktfaktorn roten ur $100/50 = 1,414$ och avgiften 111 euro per 100 kilometer.

Avgiften inkasseras av Eurocontrols kontor i Bryssel och utbetalas till medlemsländerna minus en administrativ avgift på € 0,15 per pridfaktor. Debiteringsunderlaget härstammar ursprungligen från det internationellt standardiserade systemet för färdplaner och innehåller information om såväl flygplanstyp som flygplansindivid. Eftersom flygplanstyp och sträcka är kända, och flygplanstypens bränsleförbrukning kan hämtas från andra källor, skulle det gå att via CRCO-data konstruera en nästan perfekt koldioxidavgift, dvs. överensstämmelsen med verkliga utsläpp skulle hamna inom plus minus några procent. Om detta anses vara alltför bra så tillvida att konstruktionen riskerar att betraktas som en förment otillåten bränsleskatt går det alltid att sätta in en "blufferfaktor" i skatteberäkningen för att minska överensstämmelsen till acceptabel nivå.

En komplikation är att vissa flygplansmodeller förekommer med flera olika motoralternativ och att dessa kan ha olika utsläppsegenskaper. Denna information finns inte i CRCO- eller färdplansdata och kan kräva en viss administrativ insats för att avspeglas i avgiften. Om huvudalternativet är den utsläppsmässigt

⁴⁷ Detta är särskilt framträdande i Doc. 9562 Airports Economics Manual där den typ av dubbelräkning och sammanblandning av reala och finansiella storheter som bl.a. ATAG för fram (se avsnitt 5.3.3) rekommenderas (avsnitt 7.7).

⁴⁸ Air Information Circular (AIC) A11/2012, utgivet av LFV. Flygplan under två ton är undantagna. Dit hör nästan alla flygklubsplan och flertalet skolflygplan.

sämsta motorn dock kommer flygbolagen själva att tillhandahålla informationen i de fall deras motortyp är bättre. Motsvarande arrangemang finns i CRCO:s tillämpningsföreskrifter när det gäller viktfaaktorn.⁴⁹

Undervägsavgiften är avsedd att täcka kostnader för trafikledning, radionavigationshjälpmedel mm. Den avviker ganska kraftigt från marginalkostnadsprissättning. Radionavigationshjälpmedel har ingen marginalkostnad vid användningen⁵⁰ och kostnaden för att hantera ett radareko varierar uppenbarligen inte med storleken på flygplanet. Viktfaaktorn får ses som ett sätt att utnyttja avgiftsbetalarens bärkraft.

8.6 Infrastrukturavgifter

Med infrastrukturavgifter menas diverse avgifter som flygbolagen betalar på eller i närheten av en flygplats. Swedavia har en gemensam taxa för sina 11 flygplatser⁵¹ men för de övriga 29 med reguljär trafik varierar praxis kraftigt. Avgifterna avses täcka kostnaden för rullbanor, terminaler, lokal flygtrafiktjänst, inflygningshjälpmedel mm. I Swedavias taxa ingår en avgift för utsläpp av kväveoxider och även oförbrända kolväten över en viss gräns, men avgiften avser enbart den del av starten som ligger under 900 meters höjd; resten av flygningen är inte Swedavias utan LFV:s ansvar. Därmed blir korrelationen med de totala utsläppen från flygningen lika med noll. Det är uppenbart att en effektiv koldioxidavgift inte kan bygga på infrastrukturavgifter. De övriga 29 flygplatserna har inte denna typ av avgifter.

8.7 Flygskatter och höjd moms

Då och då framförs förslag på olika skatter, i regel med syfte att begränsa flyget eller för utrikesflyget åtminstone tillväxten. Författaren till denna rapport har på uppdrag av Riksdagens Utredningstjänst analyserat ett nytt förslag framfört hösten 2012. Förslaget innebär att inrikes resor belastas med 110 kr, utrikes resor inom EU med samma belopp och utrikes utanför EU med 270 kr. Moms 6 % antas belasta inrikesresor vilket inte drabbar affärsresenärer. Det är däremot oklart om anslutningsresor ska belastas med ny skatt för andra delar än den första flygresan. Detta ger upphov till följande alternativ:

Tabell 9 Analyserade skattesatser

ALTER-NATIV	SKATTESATS PER AVRESANDE				
	INRIKES	UTRIKES		TRANSFER	
		EU	EJ EU	INR	UTR
1	110				
2		110			
3			270		
4	110	110	270	110	380

- 1) **Inrikesalternativ:** en skatt på 110 kronor tas ut på varje såld biljett. *Transferresenärer*, dvs. de som byter mellan olika inrikeslinjer på Arlanda på samma biljett, betalar inte ny skatt för resans andra del. Returresan betraktas däremot som en ny resa och beskattas. *Transitresenärer*, dvs. passagerare som sitter kvar i planet medan det mellanlandar, drabbas inte heller av någon ny skatt.
- 2) **EU-alternativ:** resor inom EU beläggs med skatt på 110 kronor enligt samma principer som i 1). Här förutsätts skatten gälla även inrikes men en transferresa, till exempel Umeå-Arlanda-Paris, beläggs bara med en skatt.
- 3) **Utanför-EU - alternativ:** resor till destinationer utanför EU beläggs med skatt på 270 kronor enligt samma principer som i 2).

⁴⁹ CRCO 11.60.02, maj 2011.

⁵⁰ Avståndsmätningssystemet DME (Distance Measuring Equipment) kan möjligen vara ett undantag då det aktivt svarar på en signal från flygplanet vilket kan påverka livslängden.

⁵¹ Senaste finns på http://www.swedavia.se/Global/Swedavia/Flygmarknad/490-Pricelist_exceeding5700kg_FINAL.pdf

- 4) **Även-transfer – alternativ:** till skillnad från alternativen ovan betraktas transferresor (men inte transitresor) som två resor och beläggs med två skatter som varierar beroende på destination.

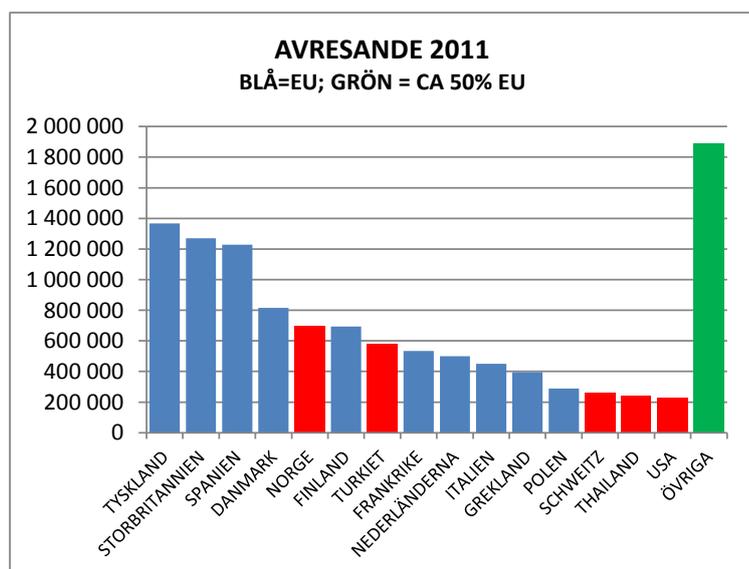
I samtliga fall antas att det i utrikestrafiken inte är möjligt att skattebelägga returresan; därmed inte sagt att detta är helt omöjligt men frågan har inte utretts i detta sammanhang. Om även returresan kan skattebeläggas uppstår frågan huruvida effekten blir fördubblad jämfört med att enbart beskatta utresor eller om det finns tröskeeffekter, undvikandeåtgärder eller annat som komplicerar bilden. Bedömningen här är att man utan större fel kan fördubbla effekterna nedan så länge skattesatserna inte är markant högre än ovan.

8.7.1 Inrikesalternativ

Här beläggs alla inrikesresor med 110 kronor skatt; en tur- och returbiljett följaktigen med dubbla beloppet. Prisnivån på inrikesbiljetter är räknat per kilometer förhållandevis hög. Om flygbolagen gjorde en *jämmt fördelad* prishöjning på 110 kronor skulle resandet uppskattningsvis minska med 2-3 %.⁵² Inrikesflyget har emellertid en mycket heterogen passagerarblandning med tämligen prisokänsliga affärsresenärer blandade med dito privatresenärer men i denna grupp finns också mycket priskänsliga ungdomar och pensionärer. Flygbolagen kommer naturligtvis att omfördela flygskatten i riktning mot de minst priskänsliga resenärerna vilket skattepåläggaren inte har några möjligheter att förhindra. Flygbolagen kan ju alltid ändra biljetternas grundpris. På transferresor kommer 110 kronor i påslag att vara än mindre märkbart, särskilt när det andra steget är en lång utrikesresa. En skatt på 110 kronor kommer att fördyra genomsnittsresan med omkring två kronor per mil. Några utpräglade lågprisbolag, där en sådan prishöjning skulle kunna vara mer iögonenfallande, finns inte längre inrikes och kan inte förväntas återkomma. Den slutliga effekten av inrikesalternativet kan förväntas vara mindre än 1 % minskning av resandet.

8.7.2 EU-alternativ

Här beläggs alla resor till EU-destinationer med 110 kronor i skatt men enbart avresan kan belastas, vilket innebär att en tur- och returbiljett fördyras med genomsnittligt 110 kronor. Moms utgår inte på utrikes resor. Trafikanalys har statistik över första destination för utrikespassagerare från svenska flygplatser:



Figur 32 Förstadedestinationer 2011

Källa: bearbetning av SOS Luftfart 2011.

⁵² Detta är en gissning. Någon direkt priselasticitet går inte att beräkna då statistik över biljettpriser saknas.

Listan toppas av Tyskland och Storbritannien som båda har omfattande lågprisflyg. Det stora utbudet till Danmark och Finland förklaras delvis av omfattande transfer på Köpenhamn och Helsingfors. Av totalt 11,56 miljoner avresande hade 8,56 (74 %) sin första destination inom EU. Den omständigheten att man inte känner till resenärernas slutliga destination saknar betydelse i ett flygskattesammanhang eftersom enbart första delresan i en resa med transfer utomlands kan skattebeläggas.

Från Sverige till övriga EU är flygsträckorna längre och prisnivån högre i genomsnitt, trots lågprisflyget. Vid första påseende borde därför en flygskatt på samma nivå som i föregående avsnitt ge ännu lägre effekt. Detta motverkas i någon mån av att ett stort antal destinationer inom EU trafikeras av så kallade lågprisbolag. Dessa bolags passagerare är mer priskänsliga än genomsnittet, vilket är grunden för affärsidén. Till följd av att lågprisbolagen inte erbjuder anslutningsflyg och i vissa fall är föga kundorienterade är inslaget av prisokänsliga affärsresenärer lågt. Bolagen har därmed betydligt sämre möjligheter att omfördela flygskatten "inom kabinen" men detta motverkas i sin tur av deras långtgående kreativitet när det gäller att fördela ut transportkostnaden på andra avgifter än det synliga biljettpriset.

Med få undantag saknar utrikes flygdestinationer realistiska transportalternativ. Den slutliga effekten i detta alternativ kan därför antas vara ännu lägre än ovan, dvs. resandet minskar med några tiondels procent.

Swedavia genomför årliga resvaneundersökningar och har nyligen publicerat en rapport för 2011 (Swedavia 2011). I denna finns visserligen resenärernas slutliga destinationer men av någon anledning redovisas enbart privatresenärer. Informationen har därmed högst begränsat värde.

8.7.3 Utanför-EU - alternativ

Här förutsätts att alla flygbiljetter till destinationer utanför EU beläggs med 270 kronor skatt men enbart på avresan. Statistiken över förstadestinationer i figuren ovan toppas av Norge (som dock är med i EES) dit det för närvarande finns förhållandevis billiga avgångar från Arlanda, Bromma, Karlstad och Landvetter. 270 kronor är inte en försumbar fördyring och kommer förmodligen att överföra en del trafik till landtransporter, främst bil. Turkiet trafikerades i december 2012 från sju svenska flygplatser. Turkiet och Thailand är till övervägande del turistdestinationer med lågt inslag av affärsresenärer. Priskänsligheten kan antas vara relativt hög, särskilt som turisterna ofta utgörs av familjer där alla biljetter drabbas av skatten. En familj på fyra sparar (vid jämn skattefördelning) 640 kr i skatt på att välja en destination inom EU.

Den kortsiktiga effekten av detta alternativ kan antas vara ganska hög, gissningsvis 5 - 10 % minskning. På längre sikt kommer framför allt charteroperatörerna att omfördela utbudet till förmån för destinationer inom EU där skatten är lägre och biljettens grundpris blir lägre till följd av kortare sträckor. Ett betydande uppsving kan förväntas för bland annat medelhavsdestinationer och Kanarieöarna på Turkiets och framför allt Thailands bekostnad. Den långsiktiga effekten bedöms knappast överstiga 5 % minskning av trafiken till destinationer utanför EU, med ungefär samma reduktion av koldioxidutsläpp.

8.7.4 Även-transfer - alternativ

Här antas att transferresenärer får betala skatt för båda resorna. Inrikes förekommer knappast mer än två resor då Stockholm är det enda navet. I princip är det enda undantaget en biljett till Pajala från en avreseort där resenären först måste byta i Stockholm och sedan på Luleå dit Pajalas flyglinje går. Jämfört med 8.7.1 blir fördyringen av en inrikes *transferbiljett* dubbelt så stor. För utrikesdestinationer utan inrikes anslutningsresa blir effekten densamma som i EU-alternativet ovan. Det saknar här betydelse hur många steg transferbiljetten består av eftersom bara utresan ur Sverige kan beskattas. Allt annat lika skulle det i detta alternativ teoretiskt löna sig för utrikesresenärerna att transferera utanför Sverige i stället för på Arlanda eftersom skatten då bara blir 110 kronor. Skattebeloppet är dock för lågt för att i nämnvärd grad driva fram sådana anpassningsåtgärder.

Den sammanlagda effekten för olika destinationer kan förväntas bli något högre än i alternativen ovan eftersom en ytterligare skatt tillkommer. Inrikes kan förväntas minska med högst 2 % och inom EU med högst 1 %. Utanför EU förstärks den kortsiktiga effekten något, till kanske 10 % medan den långsiktiga effekten blir i stort sett oförändrad (5 %) till följd av ytterligare anpassningsåtgärder.

8.7.5 Skattens relation till utsläpp och bränslepriser

De föreslagna skattesatserna saknar samband med verkliga utsläpp av koldioxid och luftföroreningar. Det blir därmed svårt, för att inte säga omöjligt, att motivera skatten med miljöskäl. För att det ska vara möjligt måste skatten åtminstone grovt samvariera med avstånd och dessutom ta hänsyn till det faktum att till avlägsna destinationer flygs en stor del av sträckan på hög höjd där en uppräkningsfaktor bör tillämpas. Det kortsiktiga ASEK-värdet för koldioxid är ca 1:10 per kilo i 2013 års prisnivå. En skatt på 110 kr täcker följaktligen 100 kilo koldioxidutsläpp. SAS utsläppskalkylator ger 113 kg för en resa Arlanda-Kiruna (915 km fågelvägen) i en Boeing 737-600 med 71,6 % beläggning. Om man bortser från flygbolagens handel med utsläppsrätter skulle skatten därmed ungefär internalisera den samhällsekonomiska kostnaden för koldioxid på denna sträcka. På kortare sträckor blir kostnaden överinternaliserad och på längre sträckor underinternaliserad. ASEK-värdet för övriga utsläpp är cirka 35 kr per passagerare för en resa Arlanda-Landvetter.⁵³ I ett utvidgat resonemang måste hänsyn tas till att infrastrukturkostnaderna sannolikt är överinternaliserade, dvs. prissatta över prisrelevant marginalkostnad.

En svårbesvarad fråga i detta sammanhang är varför skattens förespråkare vill ta ut den per passagerare och inte med ett något lägre belopp per stol. Det senare alternativet skulle i någon mån driva fram ökad beläggningsgrad och därmed minska utsläppen utan att de ovan berörda och antagligen önskade efterfrågeminskningarna skulle påverkas nämnvärt.

Sett ur flygbolagens synvinkel finns det inga principiella skillnader mellan flygskatt och andra kostnader. Sträckan Arlanda-Umeå motsvarar ungefär inrikesflygets genomsnittsflygning. Bränsleåtgången med förutsättningarna ovan är cirka 30 liter per passagerare. Statoil uppger i december 2012 bränslepriset på Arlanda till 9:35 per liter. SAS har naturligtvis ett bättre avtal så en skatt på 110 kronor kan i runda tal antas motsvara en 40-procentig prishöjning på bränslet. Inom EU blir relationen mycket lägre. Bränslepriset har emellertid stigit betydligt under 1990-talet utan några dramatiska effekter.

8.7.6 Andra studier

En seriös analys gjordes år 2009 av Travelutions AB.⁵⁴ Här bedömdes att en skattebeläggning på totalt 1,44 mdr kr skulle minska inrikesflyget med 3 % första året och ytterligare lika mycket det andra året. Bedömningen måste dock ses mot bakgrund av att Travelutions hade en överdrivet dyster bild av utvecklingen; bland annat förutspåddes med stor säkerhet en nedläggning av trafiken från Stockholm till Jönköping, Karlstad och Trollhättan-Vänersborg senast 2010 men linjerna finns kvar. Passagerarantalet bedömdes vara 5,5 miljoner 2010 men blev 6,15 och år 2012 7,0 miljoner.

8.7.7 Effekter av höjd moms/sats/momsbeläggning

För närvarande är inrikes flygbiljetter belagda med 6 % moms medan utrikesbiljetter är momsfria. Om skattesatsen inrikes höjs till 25 % uppstår en betydande fördyring av biljetterna. Affärsresenärer kan dock antas vara till nära 100 % momsredovisande och de påverkas därför inte alls; hela fördyringen utgör avdragsgill ingående moms. Privatresenärer är inte momsredovisande och drabbas därmed av en prishöjning på 18 % (1,25/1,06). Flygbolagen kommer att omfördela prishöjningen i riktning mot affärsresenärerna men till skillnad från en flygskatt, som flygbolaget godtyckligt kan fördela över passagerarna, är momsen en procentsats på biljettpriiset. Omfördelningsmöjligheterna blir därmed begränsade till rimliga variationer i biljetternas grundpris. Effekterna kommer därför att bli betydligt större än av en inrikes flygskatt, giss-

⁵³ Beräkning i TRV 2012:222.

⁵⁴ *Analys av inrikesflygets utveckling, Scenario 2010*, Travelutions AB 2006-08-25

ningsvis 5 %. Hänsyn har då tagits till att även tågbiljetter blir fördyrade men den huvudsakliga konkurrensen kommer från biltrafik där momshöjningen inte får någon effekt. Resultatet kan därför förväntas bli en betydande överföring till biltrafik vilket inte ger några miljöfördelar.

Att införa 25 % moms på utrikes resor har av ovan angivna skäl ingen effekt på momsredovisande affärsresenärer. För privatresenärer blir effekten en 25-procentig prishöjning före flygbolagens anpassningsåtgärder men utrymmet för sådana är begränsade. Man kan därför förvänta sig stora effekter på privatresenärer som på många destinationer utgör den helt dominerande kategorin. Till renodlade turistdestinationer skulle en minskning på runt 20 % inte förvåna. Den totala effekten kan inte bedömas utan en närmare kartläggning av resenärskategoriernas storlek på olika destinationer.

8.8 Slutsatser om flygskatter

Omständigheten att hittills föreslagna skattevarianter har varit så primitiva att de knappast går att motivera med miljöskäl innebär inte att skattealternativet bör avfärdas. Att invänta fungerande förslag från ICAO eller andra internationella organisationer är sannolikt meningslöst (se fotnot 43) och klimatet väntar inte. Om inte prisnivån på utsläppsrätter ökar till en sådan nivå att systemet i avsedd grad bidrar till miljömålen – vilket inte mycket tyder på – bör skattealternativet övervägas. Skatten måste konstrueras så att den åtminstone grovt samvarierar med verkliga utsläpp. Den bästa lösningen är då en CRCO-baserad avgift enligt avsnitt 8.5. Näst-bästa – lösningar kan vara att till exempel basera skatten per stol och differentiera den mellan olika flyglinjer beroende på längd. Detta måste troligen ske degressivt, dvs. skatten per kilometer avtar med längden, då man i annat fall får en inte önskvärd övergång från direkta utrikeslinjer till byten via nav.

Ett alternativ med möjligen bättre utsikter är att aktivt driva frågan om moms på flygresor inom EU. Då intra-EU – resor betraktas som inrikestrafik i alla andra sammanhang är det svårt att motivera frånvaron av moms.

9 TRAFIK OCH KOSTNADER PÅ NÅGRA LINJER

Syftet med detta avsnitt är att närmare beskriva de två största inrikeslinjerna, Stockholm-Göteborg och Stockholm-Malmö. Dessa svarade för 15 respektive 19 % av inrikesflygets transportarbete 2011. Det är också här som det finns möjlighet att minska fossilberoendet genom att överföra flygpassagerare till tåg. Tyngdpunkten ligger på statistik och kostnader medan en närmare genomgång av överföringsmöjligheter ligger utanför uppdraget. En djupare studie av den frågan finns dock i Transportstyrelsen (2009).

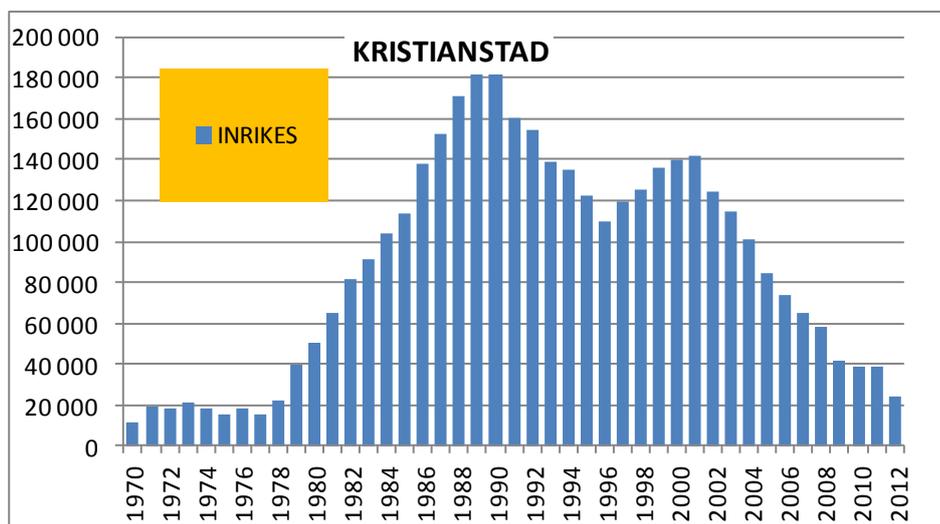
Tillgången på offentlig statistik är betydligt bättre för flyg än för järnväg. Transportstyrelsen publicerar månadsvis statistik över passagerare, frakt, post och landningar för alla 40 flygplatser med reguljär trafik, uppdelad på inrikes och utrikes. Statistik över flyglinjer finns hos Transportstyrelsen men omfattas av sekretess; dock har man publicerat statistik över de fem största linjerna ibland den från år 2007 oregelbundet utkommande skriften Flygtendenser. Detta ger i vissa fall möjlighet att skatta sambandet mellan linjestatistik och flygplatsstatistik och använda detta för tidigare år. För åren 2011 och 2012 finns data bara för det första halvåret. Totalt svarade flygtrafiken mellan Arlanda/Bromma och Göteborg, Malmö, Ängelholm-Helsingborg och Kristianstad för något under 40 % av inrikesflygets transportarbete 2012.

9.1 Skåne

Trafik till Stockholm bedrivs från flygplatserna Kristianstad, Malmö/Sturup och Ängelholm-Helsingborg. Ljungbyhed är också en s.k. trafikflygplats men har aldrig haft reguljär trafik. Flygplatsstatistiken avser summa avresande och ankommande passagerare. Statistik för flyglinjer finns bara undantagsvis tillgänglig, se nedan.

9.1.1 Kristianstad

Kristianstads flygplats invigdes som trafikflygplats 1961 efter att ha byggts som militärt fält i slutet av 1940-talet. Kommunen har ca 80 000 invånare som bör utgöra ett betydande underlag för flygtrafik men upptagningsområdet inskränks i söder av Sturup där utbudet av förbindelser till Stockholm är mycket större. Det har t.ex. inte funnits tillräckligt underlag för en med arlandalinjen parallell linje till Bromma, varken i Malmö Aviations regi 2003 eller City Airlines 2006-2007. Båda försöken blev kortvariga.



Figur 33 Inrikespassagerare på Kristianstad

Källa: Bearbetning av Transportstyrelsens statistik.

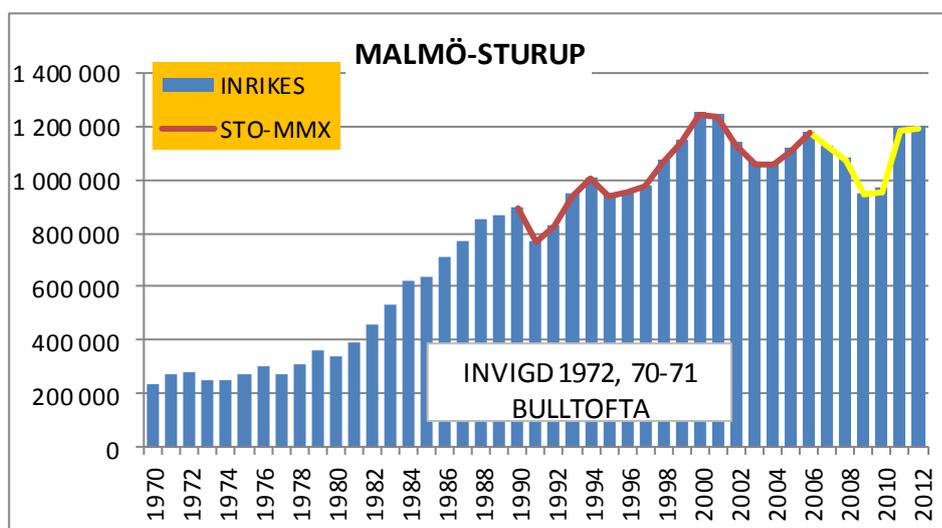
Under slutet av 00-talet stördes trafiken av en tvist mellan operatörerna Skyways och City Airline angående kommunalt stöd. Nedgången år 2012 är en följd av att Skyways, som då hade köpt City Airline, gick i konkurs och all trafik låg nere en period innan bolaget Flyglinjen övertog linjen till Stockholm. Transportstyre-

sen publicerar inte statistik för linjen till Stockholm men den kan antas svara för minst 95 % av passagerarantalet. År 2012 svarade linjen Kristianstad – Arlanda för ca 0,3 % av inrikesflygets transportarbete.

Den diskuterade höghastighetsjärnvägen Stockholm-Malmö skulle med den normalt föreslagna placeringen långt väster om befintlig stambana närmast gynna flygtrafiken på Kristianstad. Tågalternativet blir mindre attraktivt när snabbtågsstationen flyttar längre bort än Hässleholm och sannolikt inte trafikerades av höghastighetståg utan av anslutande regionalståg. Motsvarande resonemang gäller för Växjö (och i all synnerhet för Trollhättan-Vänersborg om västra stambanan förlorar snabbtågstrafiken).

9.1.2 Malmö-Sturup

Sturup invigdes 1972 och ersatte då centralt belägna Bulltofta som därefter bebyggdes med bostäder. Diagrammet nedan visar antalet ankommande och avresande inrikespassagerare och antalet passagerare på linjen till Stockholm, i båda riktningarna och både Arlanda och Bromma från 1992 när Bromma tillkom.



Figur 34 Inrikespassagerare på Sturup och Stockholm-Malmö

Källa: Bearbetning av Transportstyrelsens statistik. Gul del av linjen är publicerad statistik, röd är skattning baserad på genomsnittlig andel 2006-2012 (2011 och 2012 enbart första halvåret).

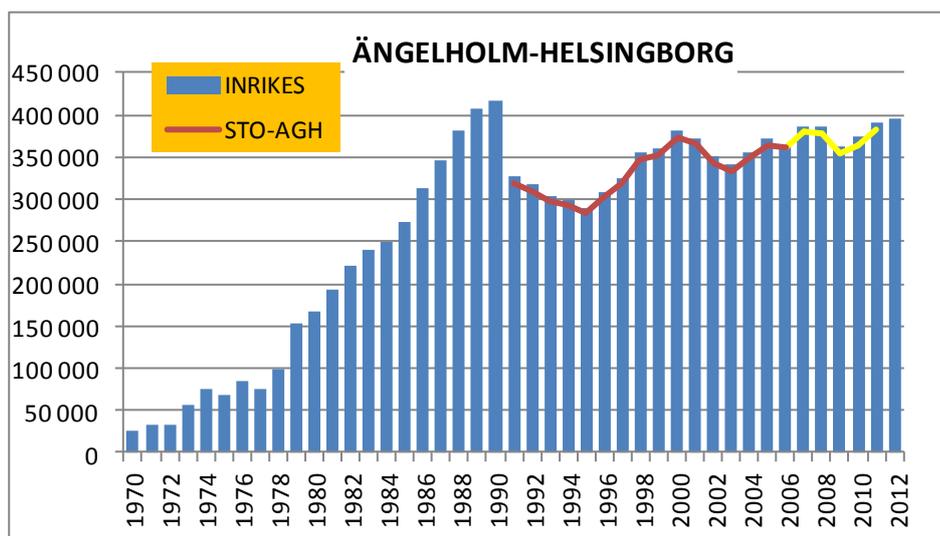
Diagrammet visar att linjen till Stockholm utgör hela inrikestrafiken så när som på någon procent. Denna del består bland annat av Direktflygs linje till Örebro och Borlänge, sommartrafik till Visby och viss chartertrafik som går Göteborg-Malmö-utlandet varvid sträckan Göteborg-Malmö redovisas som inrikestrafik. Dessa linjer bidrar med mindre än två procent.⁵⁵ Trafiktoppen nåddes inte som på nationell nivå 1990 utan 2000 och 2012 års volym ligger knappt 4 % under denna medan noteringen på riksnivå är 11 % under. Om trafiken antas jämnt fördelad på Bromma och Arlanda svarade linjen Malmö-Stockholm för ca 18 % av inrikesflygets transportarbete 2012.

SJ:s trafik med X2000 nådde fram till Malmö i januari 1995. Någon effekt går inte att spåra i trafikstatistiken. Nedgången 1995 på Sturup följde mönstret för den totala inrikestrafiken detta år och återhämtningen 1996-1998 var snabbare än på nationell nivå. Under perioden 1998-2012 utvecklades trafiken bättre än på riksnivå. Inte heller går det att spåra någon effekt av Öresundsbron som öppnades sommaren 2000. För resenärer med start eller mål nära bronns anslutningar i Malmö blev det då realistiskt att flyga till Arlanda via Kastrup (Bromma trafikerades inte därifrån) men trots detta har utvecklingen på Sturup 2000-2012 varit betydligt bättre än på riksnivå.

⁵⁵ Någon reguljär flygtrafik mellan Göteborg och Malmö har inte förekommit sedan slutet av 1980-talet då fem flygbolag inklusive SAS hade gått bet på uppgiften att driva lönsam trafik.

9.1.3 Ängelholm-Helsingborg

Flygplatsen byggdes 1940 för flygflottiljen F10:s behov. 1998-2002 inhystes även den militära flygförarbildningen sedan denna flyttats från Ljungbyhed. F10 lades ner 2002-12-31 varvid flygskolan flyttade till Uppsala. Linjetrafik till Stockholm har bedrivits sedan 1960-talet. Flygplatsen var en av Luftfartsverkets s.k. flygstationer, dvs. ett civilmilitärt samarbete, men LFV avvecklade sitt ägande 2011-04-01 varvid flygplatsen övertogs av flera kommuner som sedan sålde den till byggföretaget Peab. Linjen Ängelholm-Stockholm svarade 2012 för ca 5 % av inrikesflygets transportarbete.

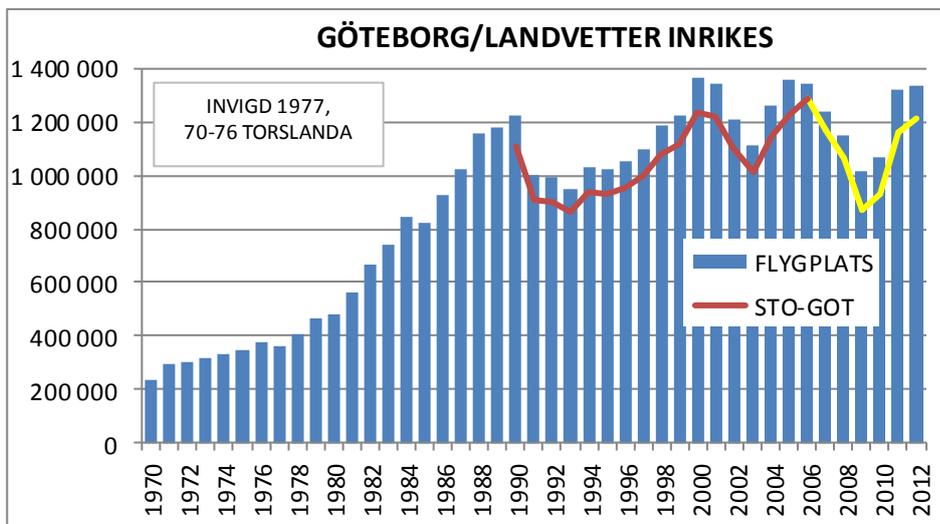


Figur 35 Inrikespassagerare på Sturup och Stockholm-Malmö

Källa: Bearbetning av Transportstyrelsens statistik. Gul del av linjen är publicerad statistik, röd är skattning baserad på genomsnittlig andel 2006-2011. För 2011 finns enbart första halvåret. Linjestatistik för första kvartalet 2006-2009 saknas pga. att Åre-Östersund då har varit nr 5 i storleksordning i stället för Ängelholm-Helsingborg och Transportstyrelsen redovisar enbart de fem största.

9.2 Landvetter

Flygplatsen Landvetter ersatte Torslanda år 1977. Till skillnad från fallet med Sturup har det utöver linjer till Arlanda och från 1992 Bromma även funnits "smålinjer" till andra destinationer, t.ex. Luleå, Umeå, Sundsvall, Borlänge och Sundsvall. Av denna anledning och de under Sturup nämnda charterresenärerna Göteborg-Malmö är överensstämmelsen mellan flygplatsstatistiken och linjestatistiken Stockholm-Göteborg sämre än för Sturup. I Göteborg finns även Göteborg/Säve flygplats men linjetrafik från denna till Stockholm har förekommit bara under en kort period 1993, i regi av Gothia Shuttle Express. Om trafiken till Stockholm antas vara jämnt fördelad mellan Arlanda och Bromma svarade den för ca 14 % av inrikesflygets transportarbete 2012.



Figur 36 Inrikespassagerare på Landvetter och Stockholm-Göteborg

Källa: Bearbetning av Transportstyrelsens statistik. Gul del av linjen är publicerad statistik, röd är skattning baserad på genomsnittlig andel 2006-2012 (2011 och 2012 enbart första halvåret).

SJ:s X2000-trafik inleddes hösten 1990 med sträckan Stockholm-Göteborg men den var i början gles och otillförlitlig. Vid årsskiftet 1991/92 var trafiken etablerad men som Lennart Thörn på SIKa konstaterade i en utredning 1997 (se TRV 2012:222) går det inte att spåra någon effekt på flygtrafiken 1992-1996. Tvärtom utvecklades flygtrafiken markant bättre än riksgenomsnittet. I likhet med Sturup nåddes toppen inte 1990 utan 2000. Volymen 2012 låg bara två procent under toppnoteringen.

9.3 Kostnader Stockholm-Göteborg

Statistik över driftkostnader på enskilda linjer finns enbart hos flygbolagen och framgår i princip aldrig i årsredovisningarna. Tillsammans med brittiske konsulten Andy Hofton har Transportstyrelsen utvecklat en driftkostnadsmodell som beräknar kostnaden per stol och flygplan för ett antal linjer och flygplanstyper. För denna rapport har Transportstyrelsen bidragit med data för linjerna Arlanda-Landvetter och Arlanda-Sundsvall; Arlanda-Sturup finns inte i databasen. Beräkningen är gjord för två olika flygplanstyper och för schabloniserade nätverksflygbolag och lågkostnadsbolag. I denna rapport redovisas kostnadsberäkningen enbart för Arlanda-Landvetter. Arlanda-Sundsvall har mycket mindre trafik.

Tabell 10 Modellberäknade kostnader Arlanda-Landvetter, B737-800

Kr i 2012 års penningvärde	Boeing 737-800	MDC MD-81
Fixed Costs per Passenger		
Aircraft and spares ownership	79	8
Aircraft and spares insurance	4	0
Flight crew fixed	45	62
Cabin crew fixed	73	67
Maintenance fixed	13	19
Ticketing, sales, advertising fixed	6	6
General and administrative	9	11
Other fixed costs	30	35
Sub total	259	207
Variable Costs per Passenger		
Fuel	123	201
Flight crew variable and expenses	3	4
Cabin crew variable and expenses	1	2
Maintenance variable	51	65
Line maintenance variable	5	6
Landing	142	148
Airport handling turnaround	176	193
En-route unit navigation charge	29	37
Passenger insurance	12	12
Catering	9	9
Reservation	10	10
CRS	10	10
Ticketing, sales and advertising	25	25
Pass., freight and mail commissions	11	11
Specific station costs	21	21
De-ice	13	16
Delays and cancellations	10	10
General and administrative	6	6
Other operating expenses	22	22
Sub total	677	808
Total cost per Passenger	936	1015

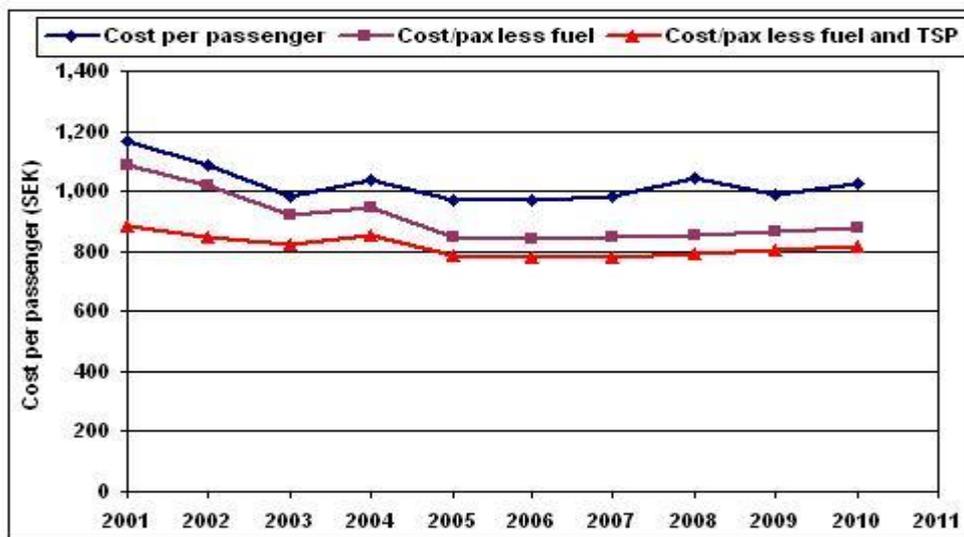
Källa: Transportstyrelsen.

Kostnaderna är beräknade av Transportstyrelsen för Boeing 737-800 som i SAS-version har 181 stolar. SAS' utsläppskalkylator anger dock den mindre 737-600 med 120 stolar som oftast använt flygplan. Det mindre flygplanet ger högre kostnader per stolkilometer. Tabellen gäller ett fullservicebolag med 65 % belägningsgrad.

Vid första påseende förefaller kostnaderna låga. Flygsträckan är knappt 40 mil vilket ger 23 – 25 kronor per passagerare och mil. Enligt en spridd missuppfattning skulle en fullständig internalisering av miljökostnader höja biljettpriset dramatiskt och leda till en stor överflyttning till tåg (eller snarare bil som har störst marknadsandel på sträckan). Så är inte fallet. ASEK 5-värden för utsläpp som används i samhällsekonomiska kalkyler är i 2010 års penningvärde för oförbrända kolväten (HC) 40 kronor per kilo plus 6-72 kr i lokalt värde, för kväveoxider (NO_x) 80 plus 5-38 och för svaveldioxid (SO₂) 27 plus 15-353 kr. SAS' utsläppskalkylator anger, för sträckan Arlanda-Landvetter (393 km plus in- och utflygning ca 40) med 181-sitsiga Boeing 737-800W totala utsläpp av 2 kilo HC, 36 kilo NO_x och 1 kilo SO₂. Med genomsnittliga lokala värden skulle den totala avgiftsbelastningen därmed bli ca 178 + 3654 + 211 ≈ 4 000 kr som vid 65 % beläggning ger knappt 35 kronor per passagerare.

Läget är något annorlunda för koldioxid, CO₂. SAS anger här 9 000 kilo för flygningen ovan vilket med det långsiktiga ASEK 5 värdet på 1:50 kronor ger cirka 115 kr per passagerare (ev. plus moms). Inte heller denna kostnad skulle ge någon dramatisk överflyttning till marktransporter, särskilt inte som flygbolagen uppenbarligen skulle omfördela avgiften i riktning mot mindre priskänsliga affärsresenärer. Den multiplikator som bör användas för att spegla de på hög höjd (åtminstone 12 km) förvärrade effekterna av vattenånga och vissa luftföroreningar är inte tillämplig på inrikesflyg, se avsnitt 7.

Utvecklingen över tiden beskrivs av nedanstående figur för Boeing 737-600 på sträckan Arlanda-Landvetter. I stort sett har totalkostnaden varit konstant under hela 00-talet men man kan anta att stigande bränslepriser 2011-2012 har höjt nivån något under dessa år.



Figur 37 Kostnadsutveckling STO-GOT Boeing 737-600

TSP = ticketing, sales & promotion. Konstanta priser, troligen 2010 års.

Källa: Transportstyrelsens driftskostnadsmodell.

Slutligen uppstår frågan om det finns dolda kostnader som inte ingår i redovisningen ovan. Enligt en bland transportekonomer spridd uppfattning, underblåst av anekdotiska data snarare än heltäckande studier men enligt författarens åsikt korrekt, betalar flyget för lite för sin miljöpåverkan men för mycket för infrastrukturen. På en öppen flygplats av Sturups storlek är marginalkostnaden för en start eller landning i princip noll sett ur flygplatshållarens perspektiv⁵⁶ och flygplatsavgifterna därmed för höga jämfört med de samhällsekonomiskt idealiska. Både Sturup och Landvetter gick under den tid de särredovisades av LFV, till och med första kvartalet 2010, med stora överskott. Detta är dock till stor del en följd av utrikestrafiken som på Landvetter var 2,7 gånger större än inrikestrafiken och på Sturup 75 % av denna år 2012. Det finns ingen möjlighet att fördela överskottet på inrikestrafik och utrikestrafik med rimlig säkerhet. Man kan däremot vara säker på att det inte ligger någon dold subvention på flygplatsnivå, varken för inrikes eller utrikes trafik

För flygtrafikledning gäller motsvarande resonemang såtillvida att ytterligare ett radareko med tillhörande data- och röstkommunikation knappast medför någon marginalkostnad alls i en redan öppen anläggning. Därmed är även de undervägsavgifter som beskrivits i avsnitt 8.5 för höga ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

⁵⁶ Uppgift från Staffan Karlsson, flygplatschef på Sturup 1982-2003.

10 LUFTRUMSFRÅGOR

Flygbolag och andra organisationer har tagit ett stort antal initiativ där minskade utsläpp antingen är det primära syftet eller en bieffekt.

Mest kända initiativ är olika varianter på ”grönt” flyg, till exempel gröna inflygningar där utprovning började på Arlanda 2006.⁵⁷ Dessutom finns i LFV:s regi eller med dess medverkan gröna utflygningar, gröna överflygningar, ”green business case” för flygtrafiktjänsten, plan för förbättrad flygeffektivitet samt en studie av ”performance-based navigation”, PBN.⁵⁸ PBN utgör en komponent i det stora projektet Single European Sky vars flygledningsdel benämns SESAR, Single European Sky Air Traffic Management Research Project.⁵⁹ Syftet med projektet är att rationalisera det ytterst fragmenterade centraleuropeiska luftrummet till ett fåtal områden och kontrollcentraler. Den svenska delen är genomförd, dvs. luftrummet övervakas av en enda kontrollcentral, Sweden Area Control Centre. Carlsson (2013) hävdar inte utan fog att resten av projektet står stilla.

Ett framgångsrikt projekt är det svensk-danska Nordic Unified Air Traffic Control (NUAC) som från den 1 juli 2012 bildade ett gemensamt svenskt-danskt luftrum.⁶⁰



Figur 38 NUAC:s luftrum

Källa: <http://www.lfv.se/sv/Internationellt/NUAC---Nordic-Unified-Air-Traffic-Control/>

Det finns ett stort antal andra projekt som antingen syftar till att förkorta flygvägar eller förbättra den precision med vilken de flygs. Denna typ av projekt har ingen omedelbar relevans för utvecklingen mot det fossilfria samhället. De medför små vinster i form av bränsleåtgång och storleken av dessa påverkas inte av externa styrmedel. För svenskt vidkommande finns inte heller mycket att hämta. Det svenska flygvägssystemet är redan i stort sett så rakt det kan bli.⁶¹ Skillnaden mellan fågelvägsavstånd och flugen distans utgörs till nästan 100 % av in- och utflygningsvägar där rationaliseringspotentialen är nära noll – flygplanet måste starta och landa mot vinden. Frågan utreddes 2003 av författaren till denna rapport på uppdrag av Statens Institut för Kommunikationsanalys (SIKA, nu i Trafikanalys).⁶² Resultatet var att in- och utflygningsvägar förlänger en flygning till eller från Arlanda med i genomsnitt 40 kilometer jämfört med fågelvägsavståndet.

⁵⁷ <http://www.lfv.se/sv/Miljo/LFVs-miljoarbete/Gront-flyg/Mer-om-Gront-Flyg>

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ http://www.eurocontrol.int/sesar/public/standard_page/overview.html

⁶⁰ <http://www.lfv.se/sv/Internationellt/NUAC---Nordic-Unified-Air-Traffic-Control/>

⁶¹ Kartor finns på http://www.lfv.se/AIP/ENR/ENR%206/ES_ENR_6_1_1_en.pdf och

http://www.lfv.se/AIP/ENR/ENR%206/ES_ENR_6_1_3_en.pdf. De går inte att läsligt återge i text.

⁶² Karyd (2003).

Swedavia, LFV, Chalmers m.fl. samverkar i projektet Vinga som går ut på att förkorta inflygningsvägar och minska bränsleåtgången vid taxning på marken. För ändamålet används satellitnavigatorer och på marken kör man med en eller flera motorer avstängda. Försöksverksamhet har bedrivits på Landvetter och möjliggör besparingar på upp till 150 kilo bränsle per landning. Många, om inte flertalet, inflygningsvägar i Sverige är emellertid utformade för att undvika buller över bebyggelse eller undvika konflikter med annan trafik och då finns det ingen besparingspotential alls. En skeptiker skulle dessutom invända att det handlar om att utnyttja satellitnavigering och flight-management – system som funnit tillgängliga i minst 20 år men det är naturligtvis lovvärt att tillgänglig teknik kommer till användning. Att inte använda alla motorer vid taxning på marken är ett sedan länge beprövat tillvägagångssätt som knappast kan tillgodoräknas något enskilt projekt.⁶³ Möjligen kan man inom Vinga ha vunnit nya erfarenheter av taxning med en motor avstängd på ett tvåmotorigt plan med vingmonterade motorer vilket brukar vara svårt på grund av sneddragning.

Luftrumsprojekt tenderar dessutom att exploatera samma begränsade besparingspotential från olika håll. Effekterna är också svåra att beräkna. ”Gröna inflygningar”, som egentligen är en mer avancerad form av ”continuous descent approach”, (CDA) med betydligt äldre anor, förutsätter en kösituation vid ankomstflygplatsen för att ha någon nämnvärd besparingseffekt. I annat fall hade CDA tillämpats i alla fall. Kösituationer uppstår dock bara under en liten tid av dygnet och i stort sett enbart på Arlanda och Landvetter. Eftersom huvuddelen av flygplansflottan inte är utrustad för gröna inflygningar måste annan trafik ofta styras undan för att inte störa den exakta tidhållning som är gröna inflygningars främsta kännetecken men då uppstår ökad bränsleförbrukning som naturligtvis måste dras av från bruttoeffekten av den gröna inflygningen.

⁶³ <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=9757>

11 KÄLLFÖRTECKNING

Aatola Hannu, Larmi Martti, Sarjovaara & Seppo Mikkonen: *Hydrotreated Teemu Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine*. Tillgänglig:

http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=hannu%20aatola&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nesteoil.com%2Fbinary.asp%3FGUID%3D90A526FF-A5BE-4AFC-A917-EC818DF5DB94&ei=iqp5UfiXJ_Do4QT-YDgCw&usq=AFOjCNEgcpJqpTH11REZ4NErMsoXWkEsFQ&bvm=bv.45645796.d.bGE

AEA Seabury. (2012). *Sustainable European Aviation: A position paper by the Association of European Airlines and Seabury*. Tillgänglig: http://files.aea.be/Downloads/seabury_rept2012.pdf

The Advisory Council for Aeronautics Research in Europe, ACARE. (2001). *European Aeronautics: A Vision for 2020*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001. Tillgänglig:

http://www.acare4europe.org/sites/acare4europe.org/files/document/Vision%202020_o.pdf

Airbus. (2013). *Global Market Forecast 2012-2031*. med svenskt pressmeddelande 2013-02-20 Tillgänglig: <http://www.airbus.com/company/market/forecast/>

Air Transport Action Group, ATAG. (2010). *Beginner's Guide to Aviation Efficiency*. Tillgänglig: <http://www.atag.org/our-publications/latest.html>

Air Transport Action Group, ATAG. (2011). *Beginner's Guide to Aviation Biofuels*. Tillgänglig: <http://www.atag.org/our-publications/latest.html>

Air Transport Action Group, ATAG. (2012). *A Sustainable Flightpath Towards Reducing Emissions*. Tillgänglig: <http://www.atag.org/our-publications/latest.html>

ATR (2010) *Regional Market Outlook 2010-2029*. Tillgänglig:

<http://www.atraircraft.com/media/downloads/Regional%20Market%20Outlook%202010-2029.pdf>

Azar, Christian & Johansson, Daniel J A. (2012) *Valuing the non-CO2 climate impacts of aviation*. *Climate Change* (2012) 111, 559-579.

Boeing. (2012). *Current Market Outlook 2012-2031*. Tillgänglig: <http://www.boeing.com/boeing/commercial/cmo/>

Bombardier. (2012). *BCA Market Forecast 2012-2031*. Tillgänglig: <http://read.uberflip.com/i/70579>

BP. (2000). *Air BP Handbook of Products*. Tillgänglig:

<http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=4503759&contentId=57765>

Carlsson, Anders. (2013). Single Sky är ett misslyckande för flyget. *Flygtorget*. Tillgänglig:

http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=9718&utm_source=Airmail&utm_campaign=62f2623aab-Airmail15_01_2013&utm_medium=email

CE Delft. (2012). *Member States in Top Gear: Opportunities for national policies to reduce GHG emissions in transport*. (Publication: 12 4647 49). Tillgänglig:

http://www.cedelft.eu/publicatie/member_states_in_top_gear/1280

CE Delft. (2012). *Costs and Benefits From Stopping the Clock: How Airlines Profit From Changes in the EU ETS*. (Publication: 12 7931 86). Tillgänglig:

http://www.cedelft.eu/publicatie/costs_and_benefits_of_stopping_the_clock_-_how_airlines_profit_from_changes_in_the_eu_ets/1326

Ecopar. (u.å.). *Drivmedel för jetmotorer*. Tillgänglig:

http://www.ecopar.se/pages/drivmedel_for_jetmotorer-4094.html

Embraer. (2012). *Market Outlook 2012*. Tillgänglig:

<http://www.embraer.com/en-US/ImprensaEventos/Press-releases/noticias/Pages/EMBRAER-DIVULGA-PREVISAO-DE-ENTREGA-DE-6800-JATOS-NO-SEGMENTO-DE-30-A-120-ASSENTOS-NOS-PROXIMOS-20-ANOS.aspx>

Energimyndigheten (2012): *Transportsektorns energianvändning 2012*. Tillgänglig:

http://www.energimyndigheten.se/Global/Statistik/Transportsektorns_energianvandning_2012.pdf

- Energimyndigheten (2013): *Transportsektorns energianvändning 2012*. Tillgänglig: http://www.energimyndigheten.se/Global/Statistik/Transportsektorns_energianvandning_2013.pdf
- Eurocontrol. Central Route Charging Office CRCO. (2012). *Guidance on the Route Charges System*. (Doc. 11.60.02). Tillgänglig: <http://www.eurocontrol.int/articles/reference-documents>
- European Union. Eurostat. (2012). *Energy, transport and environment indicators*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Tillgänglig: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-12-001/EN/KS-DK-12-001-EN.PDF
- Flygets Miljökommitté. (2007). *Slutsatser och rekommendationer från Flygets Miljökommitté*. Tillgänglig: <http://www.svensktflyg.se/wp-content/uploads/2011/05/slutsatser-och-rekommendationer-fran-flygets-miljokommitte.pdf>
- Gunston, Bill. (2001). *The Development of Piston Aero Engines*. ISBN 1 85260 599 5. London: Haynes Publishing PLC.
- Hart, Jonathan. (2013). Analysis: aviation and emissions trading. *Buying Business Travel*. Tillgänglig: <http://buyingbusinesstravel.com/feature/2120254-analysis-aviation-and-emissions-trading>
- International Civil Aviation Organization, ICAO. (2006). *Convention on International Civil Aviation – Doc 7300/9*. Ninth Edition. Chicago: ICAO. Tillgänglig: <http://www.icao.int/publications/pages/doc7300.aspx>
- Karlberg, Lars Anders. (2011, 10). Branson testar svenska jetbränslet. *Ny Teknik*. Tillgänglig: <http://www.nyteknik.se/tidningen/article3290110.ece>
- Karyd, Arne. (2003). *Mätning av verkliga flygsträckor*. Rapport till SIKA. Tillgänglig: från författaren.
- Klug, H. (2000). *Cryoplane - Hydrogen Fuelled Aircraft, Background and Status*. Hamburg, publiceringsuppgifter saknas.
- Luftfartsverket. (löpande publikation). *Air Information Publication (AIP): Serie AD*. Luftfartsverket. Tillgänglig: <http://www.lfv.se/sv/FPC/IAIP/>
- Luftfartsverket. (2012). *Air Information Circular (AIC) A11/2012*. Tillgänglig: <http://www.lfv.se/sv/FPC/IAIP/AIC-A/>
- Luftfartsverket. (2013). *Enroute Chart: Southern part*. Tillgänglig: http://www.lfv.se/AIP/ENR/ENR%206/ES_ENR_6_1_1_en.pdf
- Luftfartsverket. (2013). *Enroute Chart: Northern part*. Tillgänglig: http://www.lfv.se/AIP/ENR/ENR%206/ES_ENR_6_1_3_en.pdf
- Luftfartsverket. (2010). *Mer om Grönt Flyg*. Tillgänglig: www.lfv.se/sv/Miljo/LFVs-miljoarbete/Gront-flyg/Mer-om-Gront-Flyg
- Luftfartsverket. (2012). *NUAC – Nordic Unified Air Traffic Control*. Tillgänglig: <http://www.lfv.se/sv/Internationellt/NUAC---Nordic-Unified-Air-Traffic-Control/>
- Lundbladh Anders. (2007). Löser teknisk utveckling flygets miljöproblem? Tillgänglig: <http://www.svensktflyg.se/wp-content/uploads/2011/05/slutsatser-och-rekommendationer-fran-flygets-miljokommitte.pdf>
- Norén Olle. (1991). Vegetabilisk olja som drivmedel. Tillgänglig: www.vaxteko.nu/html/sl/slinfo_rapp_allm/IRA176/IRA176AA.HTM
- Näringsdepartementet. (2009). *Frågor och svar: Hälsa och miljö*. Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/sb/d/11778/a/122593#122593>
- OAG Market Intelligence. (2012). *EU Emissions Trade Scheme Report*. Tillgänglig: <http://www.oagaviation.com/Solutions/Reports-Guides/ETS/ETS>
- SCB: SOS Luftfart 2011. Tillgänglig: http://trafa.se/PageDocuments/LUFTFART_2011.xlsx
- SCB: SOS Luftfart 2012. Tillgänglig: http://trafa.se/PageDocuments/Luftfart_2012.xlsx
- Svensk författningssamling; *Lag om miljöskatt på inrikes flygtrafik*. SFS 1988:1576.
- Svenska Petroleum- och Bränsleinstitutet, SPBI. (2013) *Beräkningsfaktorer*. Tillgänglig: www.spbi.se
- Swedavia. (2012). *Price list: Swedavia's Conditions of Use and Airport Charges. Valid for aircraft with an authorized MTOW exceeding 5,700 kg*. Tillgänglig: www.swedavia.se/Global/Swedavia/Flygmarknad/490-Pricelist_exceeding5700kg_FINAL.pdf

- Trafikanalys. (2011). *Yttrande över kommissionens vitbok: Färdplan för ett gemensamt europeiskt transportområde – ett konkurrenskraftigt och resurseffektivt transportsystem (KOM (2011) 144 slutlig)*. Tillgänglig: http://www.trafa.se/PageDocuments/remiss_2011-05-05.pdf
- Trafikforum (2010): *Växande problem: -Dieselbakterier gillar RME*. Nr 10 2010, sid 27.
- Trafikverket. (2012). *Transportsystemets behov av kapacitetshöjande åtgärder – förslag på lösningar till år 2025 och utblick mot år 2050*. (Publikation: 2012:100). Tillgänglig: <http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem.aspx?id=5660>
- Trafikverket. (2012). *Trafikverkets prognos för inrikesflyg*. (Publikation: 2012:222). Tillgänglig: <http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem.aspx?id=5860>
- Trafikverket. (2013). *Trafikprognos för svenska flygplatser 2030*. (Remiss: 2013:9271). Borlänge: Trafikverket. Kommer inom kort att vara tillgänglig på www.trafikverket.se.
- Transportstyrelsen. (2009). *Inrikesflygets förändringar*. Tillgänglig: http://www.transportstyrelsen.se/Global/Publikationer/Luftfart/Inrikesflyget_rapport_oktober_09.pdf
- Transportstyrelsen. (2012). *Skillnader mellan Transportstyrelsens och SCB:s data på förbrukning av flygbränsle*. Opublicerat PM.
- Transportstyrelsen. (2013). *Trafikstatistik för luftfart*. Hämtad från <http://www.transportstyrelsen.se/sv/Luftfart/Statistik-och-analys/>
- Travelutions. (2006). *Analys av inrikesflygets utveckling, Scenario 2010*. Opublicerat PM.
- Åkerman Jonas. (2012). *Climate impact of international travel by Swedish residents*. Journal of Transport Geography 25 (2012), 87-93.

Hemsidor av allmän karaktär, debattartiklar mm (samtliga besökta december 2012 – april 2013):

- www.acare.com
- www.airbus.com
- www.airliners.net
- www.airnewzealand.com
- www.atag.org
- www.atraircraft.com
- www.boeing.com
- www.bombardier.com
- www.braathensregional.com
- <http://buyingbusinesstravel.com/news/2720400-meps-appeal-obama-over-emissions-trading>
- www.eads.com/eads/int/en/news/press.92323d58-24e5-4b71-aa1e-438e8c1289b0.4eb07896-3e59-4301-a243-e00d762cdb20.html
- www.eaba-association.eu
- www.eaba-association.eu/studies.php
- [DN 2011-06-28 KLM flyger med gammal frityrolja i tanken.](http://www.dn.se/2011-06-28/KLM_flyger_med_gammal_frityrolja_i_tanken)
- www.embraer.com
- http://www.eurocontrol.int/sesar/public/standard_page/overview.html
- www.flygtorget.se samt
- <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=6008>
- <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=6852>
- <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=7284>
- <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=7556>
- <http://www.flygtorget.se/Aktuellt/Artikel/?Id=9018>
- <http://www.lfv.se/sv/Om-oss/Produktion-En-Route/Prissättningsmodell/>
- www.mitsubishi.com
- www.trafa.se
- <http://vimeo.com/44470674>

Personliga kontakter och e-post:

Helen Axelsson, Transportstyrelsen
Christian Azar, Chalmers
Håkan Brobeck, Transportstyrelsen
Christina Berlin, Transportstyrelsen
Bertil Carlsson, f.d. produktionschef Preemraff
Staffan Karlsson, f.d. flygplatschef Sturup
Jonas Åkerman, KTH

12 BILAGA: BRÄNSLESPECIFIKATIONER

Nedan återges specifikationer för traditionellt jetbränsle och Oroboros Eco Fly. Swedish Biofuels har ingen publicerad specifikation för sin produkt Bio Jet. Varken Eco Fly eller Bio Jet tillverkas i dag.

12.1 BP Jet A-1

Typical Properties

Composition	Total acidity, mg KOH/g	0.003	
	Aromatics, % vol	19.5	
	Total sulphur, % mass	0.02	
	Mercaptan sulphur, % mass	0.0003	
Volatility	Distillation		
	Initial boiling point, °C	156	
	Fuel recovered		
	10% vol at °C	167	
	20% vol at °C	172	
	50% vol at °C	188	
	90% vol at °C	234	
	End point, °C	258	
	Residue, % vol	1.0	
	Loss, % vol	Nil	
	Flash point, °C	42	
	Density at 15°C, kg/m ³	804	
Fluidity	Freezing point, °C	-50	
	Viscosity at -20°C, mm ² /s	3.5	
Combustion	Specific energy, net, MJ/kg	43.15	
	Smoke point, mm	25	
	Naphthalenes, % vol	1.5	
Corrosion	Copper strip (2h at 100°C)	1A	
	Silver strip (4h at 50°C)	0	
Stability	Thermal stability (JFTOT), control temperature 260°C		
	Filter pressure differential, mm Hg		0.1
	Tube deposit rating (visual)		1
Contaminants	Existent gum, mg/100ml	1.0	
	Water reaction		
	Interface rating	1	
Conductivity	Electrical conductivity, pS/m	180	

Källa: BP Air Products BP handbook, 2000.

12.2 Oroboros Eco Fly

PARAMETER	Measured value	Max/min values in std. DEF-STAN 91-91	COMMENTS
Acidity (surhet)	---	Max 0.10 KOH/g	Not relevant. Synthetic jet fuel has no acidic components.
Aromatics (aromathalt)	<0.1 volyms%	Max 25 volume%	ok
Sulfur, mercaptan	----	Max 0.003 weight% (30 ppm)	Not relevant. There is no sulphur in this synthetic jet fuel.
Sulfur, total	<2 ppm	Max 0.30 wt% (3000 ppm)	ok
Distillation temperature, 10 % recovered	187.8 deg C	Max 205 deg C	ok
Distillation residue (destillationsåterstod)	1.3 ml	Max 1.5 ml	ok
Distillation loss (destillationsförlust)	0.8 ml	Max 1.5 ml	ok
Flashpoint (flampunkt)	61 deg. C	Min 38 deg C	ok
Density	767 kg/m ³	775 to 840 kg/m ³	Not accepted according to standards. 1 % too low.
Freezing point (fryspunkt)	Below - 65 deg C	Max - 47 deg C	ok
Viscosity (viskositet) minus 20 deg. C	4.125 cSt (mm ² /s)	Max 8.0 cSt	ok
Net heat of combustion (effektivt värmevärde)	43.94 MJ/kg	Min 42.8 MJ/kg	ok
Smoke point	35	Min 25	ok
Copper strip corrosion	1a	Max 1	ok
Thermal stability JFTOT : Filter pressure drop	0 mmHg	Max 25 mmHg	ok
Tube deposits less than	< 1	Max 3	ok
Existent gum	<1 mg / 100 ml	Max 7	ok
Water reaction, interface rating	1b	Max 1b	ok
Electrical conductivity (Without additive)	2 pS/m	Max 450 pS/m Pref. 50 to 450 pS/m	In order to have this parameter right, additives are always added to jet fuel. (EcoPar AB has tested this)
Lubricity HFRR Wear scar (Without additive)	854	Not specified	With approved jet fuel additive, the lubricity becomes alright = Same as with normal jet fuel. (EcoPar AB has tested this)

Källa: http://www.ecopar.se/pages/drivmedel_for_jetmotorer-4094.html