



LUND UNIVERSITY

Flyget, energianvändningen och miljömålen-en förstudie

Johansson, Bengt

2002

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Johansson, B. (2002). *Flyget, energianvändningen och miljömålen-en förstudie*. Avd. för miljö- och energisystem, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Flyget, energianvändningen och miljömålen

En förstudie

Bengt Johansson
Avdelningen för Miljö- och energisystem
Institutionen för teknik och samhälle
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Februari 2002

Förstudien är finansierad av Svenskt Centrum för Flygforskning

1. Inledning

Transportsektorn svarar för en betydande del av den miljöpåverkan som är förknippad med energianvändningen. Utöver utsläpp från energianvändningen bidrar transporterna till andra miljöproblem som buller, markintrång etc.

Vägtrafiken är den dominerande källan till utsläpp inom transportsektorn med undantag av utsläppen av svavel där sjöfarten svarar för det största bidraget. De svenska flygtransporterna svarar endast för 3,5% av transportsektorns koldioxidutsläpp, 4% av dess utsläpp av kväveoxider och 1% av utsläppen av kolväten (SCB och Naturvårdsverket, 2000). Flygets påverkan på miljön är fortfarande relativt osäker. I IPCC:s redovisning (Penner et al. 1999) uppvisas till exempel stora osäkerheter vad gäller flygets klimatpåverkan. En aspekt som komplicerar bedömningen är det faktum att flygets utsläpp sker på olika nivåer över marken där miljöeffekterna varierar och är olika väl kända.

En av den svenska miljöpolitikens grundpelare är de femton miljökvalitetsmål som riksdagen antog 1999 och vars detaljer varit föremål för vidare utredning under senare år. Sektorernas roll i miljömålsarbetet har särskilt betonats. För att kunna genomföra miljöpolitiken på ett effektivt sätt är det viktigt att känna till förutsättningarna för olika sektorer att genomföra åtgärder för att minska utsläppen. Det är också betydelsefullt att känna till möjligheterna att införa lämpliga styrmedel och vilka konsekvenser dessa kan ha.

Syftet med denna rapport är att översiktligt beskriva de miljöproblem som är knutna till flygets energianvändning och vilka åtgärder och styrmedel som kan finnas tillgängliga för att minska dessa problem. Därutöver identifieras frågeställningar som behöver besvaras för att man skall kunna bedöma i vilken grad och på vilket sätt flygsektorn kan delta i en effektiv miljöpolitik.

2. Flygets energirelaterade miljöproblem

Flygets historiska utveckling och framtidsbedömningar

Flyget är det transportslag som internationellt sett ökar snabbast. Det globala flygtransportarbetet var 1995 4,6 gånger större än 1970 (Penner et al., 1999). Flygtransporter mellan Europa och Asien och internt i Asien ökade tjugofalt under samma period. Energianvändningen har ökat betydligt långsammare än trafiktillväxten som en följd av införandet av större och effektivare fordon och bättre beläggning och trafikplanering (Greene, 1992). Den genomsnittliga förbättringen av bränsleeffektiviteten har i snitt legat på 1-2% per år (Penner et al., 1999).

I Sverige har inrikes flygtrafik mer eller mindre varit konstant under 1990-talet medan den utrikes flygtrafiken ökat kontinuerligt. Det totala antalet resor från svenska flygplatser uppgick år 2000 till cirka 24 miljoner varav 2/3 var utrikesresor (Luftfartsverket och SIKÄ, 2001). Inrikesresorna domineras av tjänsteresor (ca 60%) medan utrikesresorna domineras av privatresor (COWI, 1999a). Liksom är fallet internationellt har den genomsnittliga specifika energianvändningen i Sverige minskat under det senaste decenniet, genom användandet av moderna, effektivare och större flygplan samtidigt som beläggningen ökat. (Luftfartsverket och SIKÄ, 2001).

Ett antal aktuella bedömningar av den framtida utvecklingen av de globala flygtransporterna har redovisats av IPCC (Penner et al. (1999)). I dessa bedöms de globala flygtransporterna årligen öka med mellan 2,2 och 4,7% till år 2050. Det motsvarar en trafikomfattning som är mellan 4 och 15 gånger högre 2050 jämfört med 1990. Energianvändningen ökar i scenarierna betydligt mindre, 2-9 gånger mellan 1990 och 2050. I samtliga scenarier bedöms att flygmarknadens tillväxt sakta avtar. I modellen finns inga antaganden om restriktioner i tillgänglighet av infrastruktur eller bränslen.

Miljöproblem relaterade till energianvändningen idag och i framtiden

De miljöproblem som uppkommer i anslutning till flygverksamheten sker såväl vid start, landning och taxiing som under själva flygdelen. Start och landning svarar för en mindre del av utsläppen men kan för de föroreningar som främst har lokal och regional påverkan vara av störst betydelse. Själva flygdelen svarar för över 80% av utsläppen av CO₂ och NO_x (COWI et al., 1999b). För HC och CO kan utsläppen från flygplanens rörelser på marken motsvara 40-50% av de totala (COWI et al., 1999b). Utöver de föroreningar som uppkommer vid flygtransporten genererar flyget anslutningsresor med bil, buss eller tåg. Dessas miljöpåverkan kan vara av stor betydelse och behöver beaktas. I detta kapitel kommer dock fokus att ligga på miljöpåverkan från själva flygdelen.

Globala miljöproblem

Flygets energianvändning bidrar genom utsläpp av växthusgaser till den ökade risken för globala klimatförändringar. De utsläpp som uppkommer från energianvändningen påverkar också mängden skyddande ozon i atmosfären. Effekten beror till stor del på var i atmosfären utsläppen sker. En sammanfattning av de olika växthusgasernas orsak och betydelse redovisas i Tabell 1.

De olika växthusgasernas bidrag till växthuseffekten är mycket osäker. Detta gäller särskilt O₃, CH₄, kondensstrimmor och cirrusmoln, se Tabell 2. Det står dock klart att bidraget till växthuseffekten är betydligt högre än vad enbart CO₂ utsläppen implicerar. En bästa uppskattning i IPCC materialet indikerar att det totala bidraget till växthuseffekten kan vara mer än 2.5 gånger högre än vad koldioxidutsläppen ger upphov till (cirrusmolnens bidrag ej inkluderade). I sämsta fall kan det totala bidraget vara betydligt större framför allt om cirrusmolnen skulle ha ett betydande inflytande på växthusgaserna. I Penner et al. (1999) bedöms att flygets bidraget till strålningsintensiteten år 2050 kommer att vara dubbelt så stor som idag.

Idag svarar flyget för drygt 2% av de totala utsläppen av koldioxid, en andel som i IPCC scenarierna förväntas öka till 2-11% kring år 2050 beroende på scenario. Ökningen av andelen sker trots att det i scenarierna förväntas öknings av utsläppen även i andra sektorer.

Utsläpp från flyget kan även påverka ozonhalten i atmosfären. Enligt Pleijel och Lindskog (1999) ökar utsläpp av NO_x i troposfären ozonhalten vilket även utsläpp i lägre stratosfären oftast gör. Utsläpp högre upp i atmosfären medför en minskad ozonhalt. Även utsläpp av partiklar påverkar atmosfärens ozonhalt. Pleijel och Lindskog (1999) bedömer att flygtrafiken lett till en ökad halt av ozon som i sin tur lett till att den solbrännande UV-strålningen minskat med 0,5% (vid 45N i juni). Det finns en risk att om flygplanen i framtiden kommer att framföras vid högre höjder kan den solbrännande UV-strålningen som ett resultat av flygtransporterna i stället komma att öka.

Tabell 1. Faktorer som påverkar bidraget till växthuseffekten från flygtransporter. Baserat på Penner et al. (1999) och Pleijel och Lindskog (1999).

Koldioxid (CO ₂): Bildas vid förbränning av samtliga kolhaltiga bränslen. Utsläppen är direkt proportionella mot energianvändningen. Den totalt sett viktigaste växthusgasen.
Ozon (O ₃): Ger en värmande effekt. Utsläpp av kväveoxider, flyktiga organiska ämnen (VOC) och kolmonoxid ger ökad ozonhalt.
Metan (CH ₄): Gasen har en värmande effekt. Dock leder flygets utsläpp av NO _x till minskande halter metan, varför flygets inverkan på metanhalten har en kylande effekt.
Vattenånga (H ₂ O): Ger en värmande effekt.
Kondensstrimmor: Ger en värmande effekt. Bildas ur utsläpp av vatten och partiklar. Kallare avgaser genom t ex effektivare förbränningsprocess ökar benägenheten att bilda kondensstrimmor.
Cirrusmoln: Ger en värmande effekt. Partiklar och kondensstrimmor ger en ökande frekvens av cirrusmoln.
Sulfat: Verkar kylande genom att de reflekterar solljus. Sulfatpartiklar är mycket små och absorberar därför inte utgående värmestrålning.
Sot: Verkar värmande genom att de absorberar solljus.

Tabell 2. Bidrag till strålningsintensitet från flygtrafikens intensitet (W/m²). Värden låg-hög indikerar ett 67% konfidensintervall (Penner et al., 1999).

	CO ₂	O ₃	CH ₄	H ₂ O	Kondensstrimmor	Cirrusmoln	Sulfat	Sot	Totalt (ej cirrus)
Bästa uppskattning	0,018	0,023	-0,014	0,0015	0,020	-	-0,003	0,003	0,48
Låg	0,013	0,011	-0,005	0	0,005	0	-0,001	0,001	-
Hög	0,023	0,046	-0,042	0,005	0,06	0,04	-0,009	0,009	0,1
Vetenskaplig förståelse	god	svag	svag	svag	acceptabel	Mycket svag	acceptabel	acceptabel	

Regionala och lokala miljöproblem

Flyget bidrar med utsläpp som leder till förorening, övergödning och höjda halter med marknära ozon. Flygets utsläpp av de viktigaste föroreningarna NO_x, svavel och VOC motsvarar i Sverige idag 4, 5 respektive 1% av de totala utsläppen från transportsektorn.

Lokalt i närheten av flygplatser kan utsläpp av ovan nämnda föroreningar leda till påverkan på människors hälsa. NO_x påverkar hälsan negativt dels direkt, dels genom bidrag till ozonbildning. Ökade utsläpp av NO_x ger minskade halter av ozon nära flygplatsen medan NO_x bidrar till ökade

halter på 2 till 15 mils avstånd i relativt rena områden. I kraftigt förorenade områden kan ökade NO_x utsläpp leda till minskade halter av ozon (Luftfartsverket, 1999).

I direkt anslutning till flygplatserna kan signifikanta halter av NO_x uppkomma men bidraget från flyget på längre avstånd är relativt begränsat, se Tabell 3.

Tabell 3. Hälsogruppens inom miljömålsarbetes förslag till mål för kväveoxider och kolmonoxid samt halter i närheten av flygplatser. (Luftfartsverket, 1999).

Indikator	Etappmål för 2005	Frisk luft, hälsa förslag till delmål 2020	Högsta halt från flygverksamhet
Kvävedioxid	90 µg/m ³ , timmedelvärde 98 percentil 60 µg/m ³ , dygnsmedelvärde 98 percentil 40 µg/m ³ , årsmedelvärde	100 µg/m ³ , timmedelvärde 20 µg/m ³ , årsmedelvärde	10 µg/m ³ , timmedelvärde 98 percentil (totalt vid flygplatsen i Umeå) 1-2 µg/m ³ , timmedelvärde 98 percentil, vintertid (bidrag från flyget i centrala Umeå) 5-14 µg/m ³ , årsmedelvärde (totalt vid flygplatsen/Arlanda) 75-85 µg/m ³ , timmedelvärde 98 percentil (totalt vid flygplatsen /Land-vetter)
Kolmonoxid	6 mg/ m ³		30 µg/m ³ åttatimmars medelvärde (totalt vid flygplatsområdet/Växjö)

3. Miljömålen och flygets sektorsansvar

Riksdagen beslutade 1999 om femton övergripande miljö kvalitetsmål, se Tabell 4. Ett flertal av dessa har anknytning till energianvändningen. Detta gäller självklart målen "Begränsad klimatpåverkan", "Ren Luft", "Försurning", "Övergödning". Som diskuterats i avsnitt 2 bidrar utsläpp från flygets energianvändning på hög höjd till att ozonskiktet påverkas negativt. Även de miljömål som har med markanvändningen att göra påverkar indirekt och på sikt förutsättningarna att minska utsläppen från energianvändningen eftersom markanvändningsaspekter kan begränsa potentialen för att utnyttja förnybar energi, se t ex Naturvårdsverket (2000).

Tabell 4. Sveriges femton miljömål

• Begränsad klimatpåverkan • Frisk luft • Bara naturlig försurning • Giftfri miljö • Skyddande ozonskikt • Säker strålmiljö • Ingen övergödning • Levande sjöar och vattendrag	• Grundvatten av god kvalitet • Hav i balans samt levande kust och skärgård • Myllrande våtmarker • Levande skogar • Ett rikt odlingslandskap • Storslagen fjällmiljö • God bebyggd miljö
---	---

Miljömålskommittén och klimatkommittén har haft som uppgift att specificera de övergripande miljömålen och föreslå åtgärder och styrmedel. För luftfartens del har Luftfartsverket utarbetat en rapport med förslag till åtgärder och styrmedel för att uppnå miljö kvalitetsmålen (Luftfartsverket, 1999). Miljömålskommittén och klimatkommittén har följts upp av en miljöpolitisk och en klimatpolitisk proposition.

Ett flertal av miljö kvalitetsmålen har i olika sammanhang konkretiserats i form av nödvändiga utsläppsminskningar. Sådana konkretiseringar har gjorts såväl på kort som lång sikt. Exempel på hur dessa utsläppskrav kan se ut redovisas i Tabell 5 där utsläppen för år 2010 är sådana som definierats i miljö måls- och klimatpropositionerna (Regeringen, 2001a och 2001b) medan målen för 2050 är bearbetningar som gjorts av författaren utifrån olika bedömningar, framförallt regeringen (1998) och SAME (1999).

Tabell 5. Mål för utsläppsminskningar i Sverige. De i propositionerna föreslagna målen för CO₂ utgår från emissionerna 1990 medan övriga utsläppsreduktioner är beräknade i relation till emissionerna 1999.

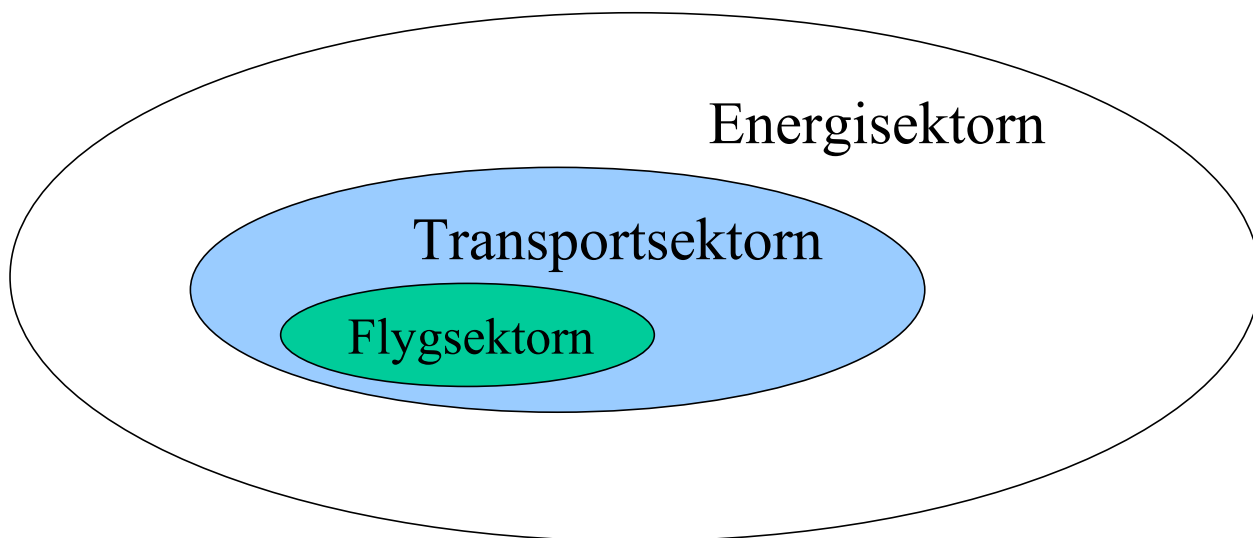
Utsläpp	Mål 2010	Mål 2050
CO ₂	-4%	>-60%
NO _x	-45%	-65%
VOC	-45%	-80%
SO _x	-10%	-10%

En fördelning av ansvaret att uppnå de övergripande miljömålen på olika sektorerna kan göras på flera sätt. Ett är att skapa sektorsmål för de olika miljömålen. Sektorsmålen kan som enklast innebära att man direkt överför övergripande utsläppsminskningar till varje enskild sektor. Denna metod är dock i allmänhet inte särskilt effektiv eftersom förutsättningarna att minska utsläppen i de olika sektorerna är olika.

I stället kan sektorsmålen definieras utifrån en analys av de förutsättningar som finns i olika sektorer att minska miljö påverkan. Flygets möjligheter ses då i ett sammanhang med möjligheterna i andra sektorer, se principskiss i Figur 1. Bedömningsfaktorer för en sådan analys kan vara kostnadseffektivitet, politisk genomförbarhet, fördelningseffekter etc. En fördelning av åtagandena på de olika sektorerna kan komma att bero på vilken av dessa faktorer som prioriteras.

Ett alternativt angreppssätt vore att inte definiera separata miljö mål för sektorerna utan i stället se till att sektorerna möter styrmedel t ex skatter eller avgifter som på ett lika starkt sätt sänder signaler till aktörerna att genomföra åtgärder. Det innebär att de sektorer som har svårt att genomföra åtgärder till låga kostnader i stället får betala en större del skatter. Möjligheterna att införa likformiga styrmedel har hittills begränsats av olika praktiska, legala eller politiska skäl. För flygets del har till exempel internationella avtal förhindrat miljö beskattning på internationell flygtrafik. På samma sätt har, av konkurrensskäl har industri- och elsektorerna i mindre grad belastats med miljö skatter än hushålls- och transportsektorn.

I arbetet med ett miljöanpassat transportsystem (MATS, 1996) gjordes en ansats att fördela övergripande miljö mål som mål för transportsektorns olika delsektorer. Denna fördelning har baserats på en övergripande analys av förutsättningarna att minska utsläppen i olika sektorer. För flygets del innebar det att denna sektor, framför allt på kort sikt, behövde åta sig mindre omfattande utsläppsminskningar än transportsektorn som helhet, se Tabell 6. Målen som utarbetats inom MATS-samarbetet låg till stor del till grund för de förslag till mål som lades fram i den transportpolitiska propositionen 1998.



Figur 1. Flygets roll i det energirelaterade miljöarbetet som en del av samtliga energianvändande sektorer

Tabell 6. Reduktionsmål för transportsektorn som helhet och flygsektorn enligt MATS (1996).

	Transportsektorn			Flygsektorn		
	2005	2020	2050	2005	2020	2050
Koldioxid	-5%	-15%	-60%	+30%	0%	-20%
Svaveldioxid	-45%	-90%	-90%	0%	na	na
Kväveoxider	-50%	-80%	-80%	+50%	+30%	+30%
VOC	na	-85%	na	-50%	-50%	-50%

Avgränsningsfrågor

Vid utvärdering av arbetet med miljömålen kan olika nationella avgränsningar vara nödvändiga vilket kan innebära avgränsningsproblem. Det gäller inte minst för flygets miljöpåverkan eftersom en betydande del av flygtransporterna består av internationell trafik.

Vid utvärdering av miljömålen används utsläpp över svenskt luftrum (nationell och internationell flygtrafik) som mått på utsläppen (se t ex SIKA, 2001). Detta är relevant om det gäller regionala och lokala utsläpp. Det kan också vara ett sätt att globalt få en bild av de totala utsläppen av koldioxid.

Luftrumsprincipen tycks dock vara mindre lämplig om man t ex skall bedöma påverkan på miljön av svenskars flygvanor eftersom stora delar av svenskarnas flygningar sker över andra länders eller internationellt luftrum. Ett alternativt sätt att räkna ut koldioxidutsläppen kan då vara att inkludera utrikes transporter ända till destination. Det är ändå inte säkert att dessa beräkningar inkluderar all relevanta utsläpp med anknytning till svenskars flygresande eftersom flera resor sker med mellanlandning. Frändberg(1998) har genom att utnyttja resvaneundersökningar försökt beräkna koldioxidutsläppen som knyts till svenskars resmönster. En sammanställning av hur olika avgränsningar kan påverka bedömningen om den svenska flygsektorns utsläpp av koldioxid redovisas i Tabell 6

Tabell 7. Utsläpp av koldioxid från den flygsektorn i Sverige beräknat på ett par olika sätt (Luftfartsverket, 2001) samt uppskattning av de utsläpp som kan knytas till svenskars resmönster (Frändberg, 1998).

	Utsläpp av koldioxid från flygtransporter Mton
Nationell trafik	1,6
Utsläpp från inrikes och utrikes trafik som startar i Sverige	2,3
Utsläpp från svenskars flygresande (Frändberg, 1998)	3,0

4. Möjliga åtgärder –en översikt

I detta avsnitt diskuteras översiktligt möjliga åtgärder för att minska miljöpåverkan från energianvändningen i flygsektorn. De frågeställningar som behöver vidare analyseras lyfts särskilt fram. De åtgärdsstyper som behandlas är:

- Förbättrad fordonsteknik
- Alternativa drivmedel
- Åtgärder som påverkar transporternas genomförande
- Åtgärder som påverkar transporternas omfattning

Fordonsteknik

Centrala frågeställningar som bör behandlas när man studerar förutsättningarna för förbättringar av fordonstekniken är:

- Vilken teknisk potential för förbättringar finns?
- Vilka är kostnaderna för de förbättringar som är möjliga och hur stora är dessa i relation till åtgärder i andra sektorer?
- Hur påverkas den ekonomiska potentialen av de ambitionsnivåer för miljöförbättringar som sätts? Hur påverkar till exempel den ekonomiska potentialen för förbättringar av eventuellt ökade bränslekostnader som en följd av ökade ambitioner för koldioxidreduktioner?
- Finns det några organisatoriska hinder för att ny energieffektivare och mindre förorenande teknik skall komma in på marknaden?

Den tekniska utvecklingen av flygets fordon har varit omfattande under de senaste decennierna eftersom flygföretagen har haft särskilt kraftiga skäl att minska energianvändningen eftersom den utöver direkta reduktioner av energikostnaderna även möjliggjort ett mer effektivt utnyttjande av flygplanen genom frigjord kapacitet för nyttolast. För den totala energianvändningen kan dock effektiviseringen ha haft mindre inverkan eftersom det effektivare utnyttjandet av energi och flygplan har lett till förstärkt konkurrenskraft för flyget, och därmed förmodligen bidragit till ökat flygresande. Schipper och Grubb(2000) menar att det i flygsektorn finns en risk för att det kan uppkomma en sådan reboundeffekt genom den effekt som energieffektivisering kan ge genom sjunkande priser.

I USA bedöms den specifika energianvändningen ha minskat från 6,0 MJ/pkm 1972 till 2,8 MJ/pkm 1992 (Decicco och Mark, 1998). Av denna reduktion bedöms 74% ha kommit genom tekniska förbättringar och resten genom effektiviserad drift. Lewis och Niedzwiedzki (1999) bedömer i sin tur att de rent tekniska förbättringarna lett till en ökning av energiproduktiviteten mätt som tillgängliga säteskilometer per kg bränsle med 70% under de senaste 40 åren. Av denna mängd berodde 30% av förbättringen av åtgärder på flygplanskroppen och 40% av förbättringen på åtgärder som förbättrade framdrivningstekniken.

Utsläppen av HC och CO har minskat betydligt per enhet använt bränsle sedan mitten av 1970-talet medan trenden varit den motsatta för NO_x (Henderson och Wickrama, 1999). Åtgärder som ökat energieffektiviteten har inte stått i konflikt med reduktioner av HC och CO emissioner medan detta varit fallet för NO_x. Dessa relationer och konflikter bedöms finnas även i framtiden. Att NO_x utsläppen per enhet förbränt bränsle ökat innebär dock inte att utsläppen av NO_x per transportarbete har ökat eftersom effektiviseringen av bränsleanvändningen varit snabbare än ökningen i utsläppen av NO_x per bränsleenhet.

Det finns fortfarande goda möjligheter att öka energieffektiviteten inom flyget genom påverkan på flygkroppens struktur och vikt såväl som genom fortsatta förbättringar av framdrivningstekniken. Detta är möjligt att även reducera emissioner av NO_x, HC och SO_x. Goda överblicker av de tekniska möjligheterna ges av Lewis och Niedzwiedzki (1999) och Greene (1992 och 1997). Som ovan nämnts finns dock, liksom inom andra energiomvandlingsfall, en viss konflikt mellan låg energianvändning och låga utsläpp av kväveoxider. Det bedöms dock finnas goda möjligheter att samtidigt *reducera* emissionerna av NO_x och CO₂ även om det inte är möjligt att *minimera* båda dessa emissioner samtidigt.

Lewis och Niedzwiedzki (1999) redovisar bedömningar som indikerar att energieffektiviteten kan vara 40%-50% bättre 2050 än i dag om energieffektivitet prioriteras. Om i stället högre prioritet läggs på optimering av kväveoxidemissioner skulle ökningen i bränsleeffektivitet kunna uppgå till 30-40% till år 2050.

De redovisningar om utvecklingspotentialer som görs redovisar sällan några specifika kostnader för de effektiviseringar som antas. Analysen utgår ofta från någon form av "naturlig utveckling" och det är svårt att genomsåda i vilken grad teknikutvecklingen skulle påverkas av olika policyinitiativ.

Alternativa bränslen

För en analys av förutsättningarna för att använda alternativa bränslen i flygsektorn är följande faktorer viktiga att studera.

- Vilken miljöpåverkan har olika kombinationer av bränslen och primärenergikällor vid användning inom flygsektorn?
- Vilka tekniska förutsättningar finns för att använda alternativa energibärare i flygsektorn?
- Vad blir kostnaden för användningen av alternativa bränslen producerade från olika energikällor?
- Vad blir den resulterande kostnaden för de miljövinster som uppnås?
- Vilken roll har valet av energibärare för flygsäkerheten?
- Kommer det att bli konkurrens om de lämpligaste energialternativen mellan olika sektorer och vilka fördelar och nackdelar finns det i så fall att använda dem inom flygsektorn i stället för i andra sektorer?

- Vilka incitament krävs för att man skall kunna implementera nya bränslesystem i flygsektorn?

Utnyttjandet av alternativa bränslen för vägtransporter har analyserats i ett flertal studier (se t ex Johansson, 1996 och 1999; IEA, 1999) och stora möjligheter att minska miljöpåverkan betydligt har identifierats jämfört med man fortsätter utnyttja konventionella drivmedel. Utnyttjandet av drivmedel baserade på förnybara energikällor kan reducera utsläppen av växthusgaser betydligt. Dock visar samtidigt andra studier att det är mer effektivt att utnyttja förnybara energikällor för att ersätta fossila bränslen för el- och värmeproduktion än att ersätta fossila drivmedel (se t ex Gustavsson et al. (1995) och Ekström et al. (2001)). Detta beror framför allt att de förnybara energikällorna erfordrar extra energiomvandlingar för att transformeras till energibärare lämpliga för transporter. Dessa omvandlingar leder såväl till energiförluster som kostnadsökningar. På sikt kan det också komma att erfordras bränslesubstitution i samtliga sektorer för att uppnå ännu mer långtgående miljöförbättringar än vad som i dag är aktuellt.

Förutsättningarna för att utnyttja alternativa bränslen i flygsektorn diskuteras bl a i Hadaller och Momeny (1993), Contreras et al. (1997) och Lewis och Niezdiewski (1999). För flyget råder det ett antal speciella förutsättningar som gör att det inte är självklart att de slutsatser som dragits gällande alternativa drivmedel för vägtransporter direkt kan överföras till flyget. Några av de faktorer som kan behöva analyseras ytterligare redovisas nedan:

- Bränslets och lagringsteknikernas volym och massa är av större betydelse för flyget då det både påverkar energianvändningen och hur mycket nyttolast som kan tas med.
- Utsläppen sker i andra delar av atmosfären vilket kan ge andra miljöeffekter än utsläppen från vägtransporter. Ett typexempel gäller utsläppen av vattenånga som inte bidrar till växthuseffekten när den emitteras vid marknivå. På hög höjd bidrar vattenånga till växthuseffekten på olika sätt, något som till exempel kan minska fördelarna med vätgas vars förbränning resulterar i högre emissioner av vattenånga per energienhet än förbränning av kolvätebränslen. Effekten beror dock av flyghöjden som därför kan behöva anpassas om vätgas införs som bränsle.
- Bränsledistributionen ser annorlunda ut än för vägtransporter och förutsättningarna att praktiskt införa alternativa drivmedel kan därför se annorlunda ut.

Som i andra sammanhang är det avgörande för miljöeffekten av ett bränsle att hänsyn tas till vilken typ av primärenergi som använts för produktionen av bränslet. Detta gäller framför allt när man studerar utsläppen av koldioxid. De direkta utsläppen vid förbränningen i flygplanet är däremot oberoende av vilken primärenergiform som använts för bränsleproduktionen och bestäms i stället av valet av energibärare.

Åtgärder som påverkar transporternas genomförande

I denna typ av åtgärder ingår förbättrat utnyttjande av flygtransporterna genom till exempel ökad beläggingsgrad, effektivare trafikflöden genom mindre väntetider och kortare flygrutter, ersättning av mer miljöbelastande transportslag med mindre belastande transportslag och samverkan mellan transportslag. Områden som kan vara aktuella att analysera är i detta sammanhang:

- Vilka potentialer finns det att fortsatt öka beläggingsgrader och effektivisera trafikflöden? Denna typer av åtgärder är i de flesta fall direkt lönsamma och har i många fall redan genomförts

- Hur påverkar sådana förbättringar flygets konkurrenskraft och vad ger det för effekt på miljöpåverkan. Hur stor är reboundeffekten?
- Vilka potentialer finns det att ersätta flygtransporter med andra transportslag där så är lämpligt ur ett miljöperspektiv?
- Vad erfordras det för investeringar för denna typ av åtgärder och vilka totalkostnader för miljöförbättringarna erhålles?
- Vilka möjligheter finns det att öka samverkan mellan till exempel järnväg och flyg och vilka kostnader är förenade med denna typ av åtgärder.

Ökning av belägningsgraden har skett kontinuerligt under de senaste 20 åren samtidigt som flygplansstorleken har ökat. Tillsammans har dessa båda processer varit av mycket stor betydelse för den ökning i energieffektivitet och minskning i utsläppsintensitet som ägt rum.

Bekebrede (1999) sammanfattar ett antal studier som studerar effekterna av förbättringar av kommunikations-, navigerings-, övervaknings-, och trafikstyrningssystem. Resultaten skiljer sig åt beroende på typ av åtgärder som studeras och region, men den bedömning som görs är att denna typ av åtgärder kan bidra till en förbättring av energieffektiviteten med 6-12%. Andra åtgärder som Bekebrede redovisar kan påverka energianvändningen är optimering av flyghastighet, minska överflödigt vikt (t ex extra bränsle som tas med för att slippa införskaffa mer bränsle än nödvändigt i länder med höga energipriser), öka lastfaktorn etc. Detta är typer av åtgärder som flygbolagen redan idag är pressade att genomföra. Bekebrede bedömer dock att det kan finnas en potential att öka energieffektiviteten med 2-6% med denna typ av åtgärder. På europeisk nivå har en bedömning gjorts att energianvändningen kan minskas med 3% genom flygoperativa förbättringar. I Sverige bedöms förutsättningarna var mindre eftersom problemet med köbildning är betydligt mindre (Luftfartsverket, 1999). Inom MATS-samarbetet gjordes en bedömning att en minskad användning av flygningar via Arlanda kunde möjliggöra minskningar i energianvändningen om cirka 5 % (MATS, 1995a).

Möjligheterna att substituera flygtransporter med andra transportslag diskuteras i många sammanhang som en möjlighet att minska miljöpåverkan från transportsektorn. Miljövinsten av en substitutionen bestäms av vilken typ av flygtransport som substitueras samt till vilka transportslag substitutionen sker. Miljöpåverkan för flygtransporten beror till mycket stor del av vilket typ av flygplan som används och hur väl man lyckas fylla dessa. Även beläggningen på de transporter som induceras genom en sådan förflyttning är naturligtvis av stor betydelse.

COWI et al. (1999c) har analyserat energianvändningen och miljöpåverkan för flera transportslag på ett antal sträckor. På sträckan Stockholm-Göteborg bedömdes energianvändningen för flygtransporter vara högre än för andra transportslag. Energianvändningen för tåg och busstransporter bedömdes motsvara ungefär 20% av energianvändningen för flygtransportkedjan. I en jämförelse med biltransporter är bilens belägningsgrad av avgörande betydelse. Energianvändningen för personbilalternativet uppgår till 40-80% av energianvändningen i flygkedjan beroende på om man antar att beläggningen är en eller två personer. För vissa föroreningar som HC, CO och NO_x är flygalternativet i vissa fall bättre än bilalternativet. Jämfört med buss och tåg kan dock inte flyget matcha vad gäller dessa utsläpp. Som diskuterats ovan finns det risk att andra växthusgaser från flyget har lika stor betydelse.

Det är värt att påpeka att när man jämför flygtransporterna med eldrivna tågtransporter är antagandet av produktionsteknik av stor betydelse. Väljer man att räkna med marginalproduktion baserad på fossila bränslen i stället för genomsnittsvärden kan detta ge en kraftig ökning av järnvägstransportens utsläpp av framför allt koldioxid (Kågeßon, 2001).

Störst möjligheter att byta transportmedel torde vara på medellånga transporter. På en sträcka som Göteborg-Stockholm har till exempel införandet av snabbtåg inneburit en förskjutning av andelen transporter på järnväg, flyg och landsväg. På riktigt långa transportsträckor torde substitutionsmöjligheterna vara betydligt mer begränsade. Hur stor omfattningen är för en möjlig substitution är osäkert. I Sverige är en relativt begränsad del av flygtransporterna inrikes transporter och de som sker på lämpliga avstånd för substitution är också begränsade. I MATS (1995) redovisas olika bedömningar om konkurrensytorna mellan flyg och järnvägstransporter. Flygoperatörerna uppgavs inte känna av någon konkurrens av snabbtågen medan luftfartsverket angav att X2000 tagit 10-15% av sina passagerare från flyget. SJ bedömer att 20% av ökat transportarbete kommer från flyget. Ett exempel där man försökt skatta effekterna på transportmedelsval av förändrade priser redovisas i COWI et al. (1999b)

Flera av de anslutande korta flyglinjerna är matningstrafik till mer centrala flygplatser. Med till exempel järnvägsanslutningar till flygplatserna skulle det kunna bli lättare att ersätta dessa flygsträckor med tåg. Den möjliga omfattningen behöver studeras likväl som den miljömässiga nyttan i relation till kostnaden. En uppföljning av effekterna av järnvägsanslutningen av Arlanda med fjärrtåg kan ge intressant inblick i effekterna av sådana logistiska förskjutningar.

Miljöeffekterna från flyglogistikkedjan uppkommer inte enbart genom själva flygningen utan även genom transporter till och från flygplatsen. TFK (Institutet för transportforskning) studerar för närvarande flygets logistikkedjor för att identifiera vad som är den viktigaste delen i kedjan för att kunna minska påverkan av flygets miljöpåverkan.¹

Begränsning av flygtransporterna

En ytterligare möjlig åtgärd är att minska omfattningen av flygtransporterna. Till skillnad från ovan nämnda åtgärdstyper närmar man sig här åtgärder som kan påverka själva nyttan av transporttjänsten. Det är mycket möjligt att det kan vara nödvändigt att påverka transporternas omfattning om man skall nå mycket långt gående miljömål. I en värdering av åtgärder som minskar transportarbetet bör man skilja på resor och transporter som i sig bidrar till nyttan av tjänsten och transporter som man, om det vore möjligt, gärna skulle undvika och som kanske i vissa fall kan substitueras med andra kommunikationssätt. Huruvida till exempel ökad IT-användning leder till ökade eller minskade transporter diskuteras flitigt men beror med all sannolikhet på vilken typ av transporter man talar om. De tekniska lösningarna som kan påverka transportarbetets omfattning som till exempel utvecklingen av telekommunikationerna kan lämpligen analyseras som en åtgärdstyp. Övriga sätt att påverka transportarbetet kan dock förväntas ske genom någon form av styrmedel som påverkar relationen mellan nytta och kostnad för transporter varför det lämpligen hanteras inom ramen för studier av styrmedel.

¹ Projektets namn är "Flygrede- Identifikation av kostnadseffektiva åtgärder för reduktion av växthusgaser inom flygtrafiken".

5. Möjliga styrmedel och dess effekter

Styrmedel delas traditionellt upp i ekonomiska styrmedel, regleringar och information. Ibland läggs till dessa typer även stöd till forskning och utveckling som på längre sikt kan påverka den framtida utvecklingen. Styrmedlen kan verka både som en piska och som en morot gentemot olika aktörer. Till exempel fungerar skatter som en piska som genom ökade kostnader är tänkta att påverka aktörerna att minska miljömässigt negativ verksamhet. Investeringsbidrag och andra stöd kan i stället verka som en morot för att man skall öka användningen av vissa önskvärda produkter. I vissa fall kan ekonomiska styrmedel och regleringar samverka genom olika typer av marknadsbaserade styrmedel som fördelar det utrymme som regleringar givit ett land eller enskilda. Exempel på det är handel med utsläppsrätter och gröna certifikat för elproduktion.

För att analysera styrmedel kan flera typer av frågeställningar vara fruktbara:

- Hur effektiva är olika styrmedel? Med effektivitet kan här menas såväl hur väl styrmedlen uppnår uppställda mål som hur kostnadseffektivt målen uppnås.
- Vilka konsekvenser får införandet av olika styrmedel eller kombinationer av styrmedel? På vilket sätt kommer beteendet att påverkas och hur kommer olika aktörer att påverkas ekonomiskt?
- Vilka institutionella förutsättningar finns det för att införa olika typer av styrmedel? Detta kan påverkas av befintliga regelverk och politisk förankring.

Intressanta områden som kan behöva studeras för att besvara ovanstående frågeställningar kan vara:

- Vilken struktur bör effektiva styrmedelsystem ha för att uppnå olika typer av mål?
- Hur kan dessa ideala system behöva ändras med hänsyn tagen till olika omvärldsfaktorer?
- Hur reagerar olika aktörer på olika styrmedel? I vilken mån sker anpassningen genom genomförandet av åtgärder av det slag som redovisats i föregående kapitel och i vilken grad sker anpassningen genom att transporternas omfattning påverkas? Hur påverkas antalet flygförbindelser och olika orters tillgänglighet?
- Vilka konsekvenser får införandet av styrmedel på olika grupper? Hur påverkas resandet för olika samhällsgrupper, hur påverkas företags investeringsvilja etc.
- Vilka är de regelverk som försvårar implementeringen av effektiva styrmedelskombinationer? Vilka möjligheter finns det att reformera dessa system så att effektiva styrmedel kan implementeras?

Carlsson (1999) beskriver förutsättningarna för ekonomiska styrmedel för lufttransporter i Sverige och menar att ett sådant system skulle kunna bidra till förbättrad effektivitet. Bedömningar som gjorts indikerar att ekonomiska styrmedel inte i första hand leder till minskat antal flygningar. Studier som Carlsson citerar visar på att de mest sannolika reaktionerna på bränsleskatter skulle bli ökade biljettpriser, ersättning av de minst bränsleeffektiva motorerna samt minskningar av kostnader inom andra områden. Med differentierade avgifter mellan olika flygplatser kan förändrade flygmönster bli fallet. På längre sikt kan styrmedel påverka val av flygplan och motorteknik. Carlsson redovisar också i sin studie hur en effektiv beskattning teoretiskt bör se ut. Den bör bestå av den marginella utnyttjandekostnaden av infrastruktur, marginella miljökostnaden, ökade förseningskostnader som läggs på andra användare samt ökade miljökostnader på grund av trängsel.

Decicco och Mark (1998) redovisar en uppskattad priselasticitet för flygbränslen i USA på cirka -0,6 och en inkomstelasticitet på 3. På grund av de historiskt sjunkande energianvändningen inom

flygtrafiken har bränslets andel av de totala kostnaderna sjunkit avsevärt. Greene (1992) redovisar till exempel att bränslets andel av de totala kostnaderna sjunkit från 40% 1978 till 18% 1988. Denna trend kan tyda på att allt kraftfullare styrmedel kan komma att krävas för att begränsa energianvändningen ytterligare framöver.

En motivering till att införa ekonomiska styrmedel för att minska utsläppen är att externa kostnader för miljöpåverkan inte ingår i priset som konsumenten möter. Därför har mycket arbete lagts på att försöka bedöma dessa externa kostnader både inom transportsektorn som helhet som flyget.

COWI et al. (1999d) har försökt uppskatta de externa kostnaderna för svensk flygtrafik. Beräkningarna baserade sig för luftföreningar på de värden som ASEK-gruppen föreslagit och som använts i den nationella infrastrukturplaneringen 1994-1998. Beräkningarna ledde till exempel till skattningar av miljökostnaderna för luftföreningar som uppgick till 48 kronor för en resa mellan Stockholm och Göteborg. Kostnaderna domineras helt av CO₂ (33 kr) och NO_x (15 kr). Beräkningarna indikerar att en internalisering av miljökostnaderna på denna nivå torde ha begränsad påverkan på det totala flygpriset.

Sedan studien gjorts har dock ASEK justerat sina värden vilket redovisas i SIKa (1999). Den mest betydande skillnaden är en ökning av värderingen av koldioxidutsläppen med en faktor 4 vilket baserar sig på den värdering som bedöms vara nödvändig för att nå de trafikpolitiska målen. Denna värdering har å andra sidan på senare tid ifrågasatts i Kågesson (2001) som menar att det finns betydligt billigare åtgärder för att klara de övergripande målen på klimatsidan i andra sektorer än i trafiksektorn.

I en annan studie, Perl et al (1997 och 2001), beräknades de externa kostnaderna för flygtrafiken vid Lyons flygplats. I studien användes ett antal olika metoder. Studien var begränsad till trafiken i anslutning till start och landning vilket inte gav en helhetsbild av flygets externa effekter. En intressant slutsats var dock att koldioxid var den dominerande faktorn även om man enbart studerade utsläppen i anslutning till flygplatsen där de lokala och regionala föreningarna borde vara betydligt mer betydelsefulla.

Det finns flera svårigheter att använda sig av internalisering av externa kostnader för långsiktiga policybeslut om till exempel framtida lämpliga nivåer på styrmedel.

- För det första är miljöeffekterna mycket osäkra. Som indikerats i tidigare kapitel är osäkerheten om flygets miljöpåverkan på klimatet en faktor 5.
- Värderingen av ett flertal miljöeffekter är väldigt osäker och beror på vilken beräkningsmetodik som används.

Det torde därför stå klart att det är svårt att med denna typ av analyser uttala sig om huruvida en aktivitet, t ex flyget, betalar sin miljökostnad. Däremot kan det vara möjligt att med dessa beräkningsmetoder erhålla en indikation om huruvida en sektor betalar i proportion till sina miljöproblem jämfört med andra sektorer.

Det finns ett flertal hinder för att genomföra de teoretiskt mest effektiva styrmedlen. Internationellt styrs flygtransporterna av det regelverk som hanteras inom FN-organisationen ICAO. Möjligheterna att nationellt införa särskilda styrmedel kan förhindras såväl genom att det kan påverka nationella företags konkurrenssituation negativt som att det kan uppfattas som någon form av handelshinder. Styrmedel kan också påverka olika konsumentgrupper på ett sådant sätt att de inte får någon acceptans. Svårigheterna att höja bensin- och dieselskatter speglar hur acceptansproblem hos konsumenterna/skattebetalarna kan förhindra införandet av styrmedel som bedömts vara kostnadseffektiva.

6. Områden för ytterligare studier

Som ovan antytts finns det finns ett flertal områden som kan vara värda vidare studier för att förbättra underlaget för hur flyget skall kunna utveckla miljöarbetet och sektorsansvaret. I det följande betonas några områden som är av särskilt intresse:

- *Kunskapen om flygets effekter på miljön måste förbättras.* Detta gäller särskilt påverkan på växthuseffekten och ozonskiktet. Vad gäller påverkan på växthuseffekten är osäkerheterna så stora att det ger betydande svårigheter att definiera vilka utsläppsminskningar som är rimliga att kräva av flyget, vilka åtgärder som är effektiva och hur starka styrmedel som är befogade att ålägga flyget. Att påverkan på växthuseffekten är större än vad som indikeras av utsläppen av CO₂ är dock tydligt.
- *Kunskapen om tillgängliga åtgärder behöver förbättras.* Det behövs inte minst en ökad förståelse för vilka lösningar som kan vara effektiva under olika restriktioner. Ökade miljökrav kommer att leda till att fler och kostsammare åtgärder måste vidtas varför ett antal åtgärder som på kort sikt tycks ineffektiva kan spela en roll i en kostnadseffektiv miljöstrategi. För att bedöma vilken betydelse detta kan ha krävs en utökad kunskap om miljöpåverkan av olika åtgärder och de kostnader som är förenade med dessa åtgärder. Kunskapen från denna typ av forskning kan vara viktig för att ge företag möjlighet att anpassa sin tekniska utveckling utifrån de framtida restriktioner som kan uppkomma. Den kan också vara betydelsefull när bedömningar av investeringar i infrastruktur görs och därmed ramverken för de roller olika transportslag kan komma att spela definieras.
- *Effektiviteten hos olika styrmedel och deras effekter på den tekniska utvecklingen och olika aktörers beteende behöver analyseras ytterligare.* Olika typer av miljöstyrmedel kommer ha fortsatt stor betydelse inom miljöpolitiken. Kunskap om dess effekter är av stor betydelse för såväl flygföretag som skall planera sin framtida verksamhet, myndigheter som har inflytande på infrastruktursutbyggnaden samt politiker som har att välja mellan olika styrformer generellt eller för olika sektorer. För detta är forskning som utröner möjliga konsekvenser av olika styrmedelskombinationer av stor betydelse.

Referenser

- Bekebrede F. 1999. Air Transport Operations and Relation to Emissions, i Penner J. E., Lister D. H., Griggs D. J., Dokken D. J., McFarland M. (Eds.). 1999. *Aviation and the Global Atmosphere*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Carlsson F. 2001. Incentive-based Environmental Regulation of Domestic Civil Aviation in Sweden. *Transport Policy*, **6**, 75-82.
- Contreras A., Yigit S., Özay K., Veriroglu T. N. 1997. Hydrogen as aviation fuel: A comparison with hydrogen fuels. *Int. J. Hydrogen Energy*, **22**, 1053-1060.
- COWI, Inregia och TÖI. 1999a Luftfartens villkår i Skandinavien – Luftfartens betydning i Danmark, Sverige og Norge, SAS, Köpenhamn.
- COWI, Inregia och TÖI. 1999b Luftfartens villkår i Skandinavien – Energiforbrug og luftemissioner, SAS, Köpenhamn.
- COWI, Inregia och TÖI. 1999c. Luftfartens villkår i Skandinavien – Prisens betydning for valg af transportform, SAS, Köpenhamn.
- COWI, Inregia och TÖI. 1999d, Luftfartens villkår i Skandinavien – Marginale eksterne omkostninger, SAS, Köpenhamn.

- DeCicco J. Mark J. 1998. Meeting the energy and climate challenge for transportation in the United States, *Energy Policy*, **26**, 395-412.
- Ekström C., Amnell G., Anheden M., Eidensten L., and Kierkegaard G. 2001. *Biobränsle från skogen. En studie av miljökonsekvenser och ekonomi för olika användningar*. Vattenfall, Stockholm.
- Frändberg L. 1998. *Distance Matters. An inquiry into the relation between transport and environmental sustainability in tourism*. Humanekologiska skrifter 15, Avdelningen för humanekologi, Göteborgs universitet.
- Greene D. L. 1992. Energy-efficiency potential of commercial aircraft. *Annu. Rev. Energy Environ.* **17**, 537-573.
- Greene D. L. 1997. Commercial Air Transport Energy Use and Emissions: Is Technology Enough? I Decicco J. och Delucchi M. *Transportation, Energy, and Environment: How Far Can Technology Take Us?* ACEEE, Washington DC.
- Gustavsson, L., Börjesson, P., Johansson, B. and Svenningsson, P. 1995. Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels. *Energy - the International Journal* **20**, 1097-1113.
- Hadaller O. J och Momeny A. M. 1993. Characteristics of future Aviation Fuels. I Greene D. L. och Santini D. J. (Eds.) *Transportation and Global Climate Change*, ACEEE, Washington DC.
- Henderson S. C. och Wickrama U. K., 1999. Aircraft Emissions: Current Inventories and Future Scenarios, i Penner J. E., Lister D. H., Griggs D. J. Dokken D. J., McFarland M. (Eds.). 1999. *Aviation and the Global Atmosphere*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- IEA (International Energy Agency). 1999. *Automotive Fuels for the Future. The Search for Alternatives*. International Energy Agency, Paris.
- Johansson B. 1996. Transportation fuels from Swedish biomass-environmental and cost aspects. *Transportation. Research - D* **1**, 47-62.
- Johansson. B. 1999. The economy of alternative fuels when including the cost of air pollution *Transportation Research-D* **4**, 91-108.
- Kågeson P. 2001. *Transportsektorns koldioxidutsläpp och den svenska miljöpolitiken. En kritisk granskning*. VINNOVA, Stockholm
- Lewis J. S. och Niedzwiecki R. W. 1999. Aircraft Technology and Its Relations to Emissions, i Penner J. E., Lister D. H., Griggs D. J. Dokken D. J., McFarland M. (Eds.). 1999. *Aviation and the Global Atmosphere*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Luftfartsverket. 1999. *Luftfarten och miljö kvalitetsmålen*. Förslag till åtgärder/styrmedel för att nå miljö kvalitetsmål, Norrköping.
- Luftfartsverket. 2001. *Flygets utveckling 2000. En sektorsredovisning*, Norrköping.
- Luftfartsverket och SIKA. 2001. *Luftfart 2000*, Norrköping och Stockholm.
- MATS. 1995. *Åtgärder för att uppnå ett miljöanpassat transportsystem*. Naturvårdsverket rapport 4511, Stockholm.
- MATS. 1996. *Mål för miljöanpassade transporter – underlag för vidare arbete*. Naturvårdsverket rapport 4623, Stockholm
- Naturvårdsverket. 2000. *Mått och mål för energianvändningen. Verktyg i arbetet för en hållbar samhällsutveckling*, Naturvårdsverket rapport 5115, Stockholm. .
- Penner J. E., Lister D. H., Griggs D. J. Dokken D. J., McFarland M. (Eds.). 1999. *Aviation and the Global Atmosphere*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Perl A., Patterson J., och Perez M. 1997. Pricing aircraft emissions at Lyon-Satolas airport, *Transpn Res.-D*, **2**, 89-105..

- Perl A., Patterson J., och Perez M. 2001. Erratum to "Pricing aircraft emissions at Lyon-Satolas airport"[Transpn Res.-D, 2 (2) 89-105] *Transn Res-D*, **6**, 147-153. ..
- Pleijel K., Lindskog A. 1999. *Flygets miljöpåverkan – en statusrapport med tonvikt på ozon*. IVL, Göteborg.
- Pohl H. W. Malychev V. V. 1997. Hydrogen in future civil aviation. *Int J. Hydrogen Energy*. **22**, 10/11, 1061-1069. Cambridge.
- Regeringen 1998. *Svenska miljömål*, Regeringens propositionen 1997/98:145.
- Regeringen, 2001a, *Svenska miljömål - delmål och åtgärdsstrategier* Regeringens proposition 2000/2001:130
- Regeringen 2001b *Svensk klimatstrategi*, Regeringens proposition 2001/2002:55
- SAME 1999 *Hållbar energiframtid? Långsiktiga miljömål med systemlösningar för el och värme*, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Schipper L. Och Grubb M. 2000. On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries, *Energy Policy*, **28**, 367-388.
- SIKA .1991. Översyn av samhällsekonomiska kalkylprinciper och kalkylvärden på transportområdet. SIKA Rapport 1999:6. Box 17213, S-104 62 Stockholm.
- SIKA (Statens institut för kommunikationsanalys). 2001. *Uppföljning av de transportpolitiska målen Maj 2001*, SIKA Rapport 2001:4. Stockholm.
- SCB och Naturvårdsverket. 2000. *Naturmiljön i siffror 2000*, Stockholm, Sweden.