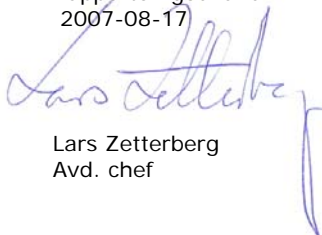


# Konsekvensanalys av skatter och avgifter för flyget

Mohammed Belhaj, Kristina Holmgren & Jana Moldanova  
B1738  
Juni 2007

Rapporten godkänd  
2007-08-17



Lars Zetterberg  
Avd. chef

<b>Organisation</b> IVL Svenska Miljöinstitutet AB	<b>Rapportsammanfattning</b>  <b>Projekttitel</b> Konsekvensanalys av skatter och avgifter för flyget  <b>Anslagsgivare för projektet</b> Luffartsstyrelsen
<b>Adress</b> Box 5302 400 14 Göteborg	
<b>Telefonnr</b> 031-725 62 00	
<b>Rapportförfattare</b> Mohammed Belhaj, Kristina Holmgren & Jana Moldanova	
<b>Rapporttitel och undertitel</b> Konsekvensanalys av skatter och avgifter för flyget	
<b>Sammanfattning</b> I denna studie analyseras de samhällsekonomiska konsekvenserna av att införa skatter och avgifter för svenskt inrikes samt utrikesflyg. Koldioxidskatt, bränsleskatt och NO <sub>x</sub> -avgifter analyseras. Utifrån två uppsatta scenarier med tänkta emissionsmål för koldioxid och NO <sub>x</sub> beskrivs kostnaderna för flygsektorn, staten och samhället.	
<b>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</b> Styrmedel, flyg, handel med utsläppsrätter, koldioxidskatt, NO <sub>x</sub> -avgift, flygbränsleskatt	
<b>Bibliografiska uppgifter</b> IVL Rapport B1738	
<b>Rapporten beställs via</b> Hemsida: <a href="http://www.ivl.se">www.ivl.se</a> , e-post: <a href="mailto:publicationservice@ivl.se">publicationservice@ivl.se</a> , fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm	

## **Förord**

Denna studie har genomförts av IVL Svenska Miljöinstitutet, på uppdrag av Luftfartsstyrelsen.

## Sammanfattning

I denna studie analyseras de samhällsekonomiska konsekvenserna av att införa skatter och avgifter för flyg inom svenskt luftrum. Koldioxidskatt, bränsleskatt och NO<sub>x</sub>-avgifter analyseras. Utifrån två olika scenarier med tänkta (fiktiva) mål för flygets emissioner av koldioxid och NO<sub>x</sub> beskrivs och analyseras kostnaderna för flygsektorn, staten och samhället.

Målen för CO<sub>2</sub> som satts upp i scenarierna i denna studie är:

1. att emissionerna till år 2010 fryses på 1990 års nivå,
2. att utsläppen reduceras från 1990 års nivå med 20% till år 2020

Målen för NO<sub>x</sub> som satts upp i scenarierna i denna studie är:

1. att emissionerna fryses på dagens (2005 års) nivå till år 2010
2. att utsläppen minskas från dagens (2005 års) nivå med 20% till år 2020.

Analysen är genomförd för två olika fall, dels för om scenarierna endast omfattar inrikestrafiken och dels om de omfattar både inrikes- och utrikestrafik.

Att införa en koldioxidskatt då man känner sektorns kostnader för att minska utsläppen, eller att inkludera flyget i ett slutet system för handel med utsläppsrätter (utan möjlighet till köp av utsläppsrätter från andra sektorer) där auktionering tillämpas, resulterar i samma utfall, d.v.s. fördelning av kostnader mellan staten, samhället och resenärerna. Med andra ord innebär detta att rent teoretiskt är det inte så stor skillnad mellan en CO<sub>2</sub> skatt och ett handelssystem. I praktiken är det dock lättare att med ett handelssystem vara säker på att nå uppsatta emissionsmål jämfört med vid en skatt. En skatt gör dock att man vet kostnaden för utsläppen, något som bestäms av marknaden i ett handelssystem. Skattenivån kan behöva justeras vid flertalet tillfällen för att uppnå emissionsmålen.

Skillnaden mellan att införa ett handelssystem på nationell nivå jämfört med en skatt är liten, däremot är det på EU-nivå lättare att införa ett handelssystem än att införa en skatt, eftersom införandet av en skatt kräver att samtliga länder godkänner införandet.

Om både skatt och åtgärds-kostnader förs över på biljettpriserna, visar vår analys av det fall då endast inrikesflyg är inkluderat, att endast det striktare CO<sub>2</sub>-målet (reduktion av emissioner med 20% till 2020) resulterar i en något minskad efterfrågan på flygresor. I fallet då hela flygtrafiken (både inrikes och utrikes) inkluderas leder bägge scenarierna till en viss påverkan på biljettpriset. Om resenärerna i dessa fall går över till att resa med bil finns det stor risk att nettominskningen av CO<sub>2</sub>-utsläpp uteblir. Ersätts flygresorna däremot med andra trafikslag, som t.ex. tåg kvartstår en nettoreduktion. Studier visar dock att övergång till bilresor är mest trolig.

Om handelssystemet däremot inte är slutet blir priset på utsläppsrätterna betydligt lägre, dels eftersom åtgärds-kostnaderna i t.ex. den industri som idag ingår i EU ETS är betydligt lägre än i flygsektorn och eftersom inkluderandet av flyget inte kommer att ha annat än marginell påverkan på priset på utsläppsrätterna. Detta medför att emissionsreduktioner som genomförs i flygsektorn blir små och likaså blir påverkan på operatörer och resenärer liten. I ett öppet handelssystem kommer åtgärder istället att genomföras i andra sektorer med lägre åtgärds-kostnader, d.v.s. de genomförs på ett mer kostnadseffektivt sätt.

För att uppnå de tänkta NO<sub>x</sub>-målen underlättar ett införande av en kostnad för utsläpp av CO<sub>2</sub>, eftersom minskad bränsleförbrukning ofta leder till minskade NO<sub>x</sub>-utsläpp. Är kostnaden för CO<sub>2</sub> låg, behövs en högre nivå på NO<sub>x</sub>-avgiften än idag om man vill åstadkomma det striktare

emissionsmålet. För att få en bättre styrande effekt av NO<sub>x</sub>-avgiften är en utökning av systemet (fler länder som tillämpar reglerna) viktig.

Den genomförda analysen är starkt beroende av de antaganden om relationen mellan kostnader och utsläppsminskningar som gjorts. Analysen visar att det krävs relativt höga priser på CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> för att det skall få en betydande påverkan på biljettpriser.

Den kunskap och de mått man idag har för att jämföra klimatpåverkan från utsläpp av CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> från flyget pekar på att påverkan från CO<sub>2</sub> är betydligt större. Åtgärder bör därför riktas mot att minska bränsleförbrukningen. Att införa åtgärder som ökar bränsleförbrukningen men minskar klimatpåverkan från NO<sub>x</sub>-utsläppen kan resultera i större nettopåverkan på klimatet.

Av de undersökta styrmedlen finns idag redan en NO<sub>x</sub>-avgift baserat på utsläppen under LTO-cykeln för samtliga avgångar från LFVs flygplatser i Sverige. Styrmedlet skulle troligtvis få större effekt om samma regler gällde på fler flygplatser (både i och utanför Sverige). Någon bränsle- eller koldioxidskatt finns idag inte för flyget. Att införa sådana styrmedel för framför allt utrikes flygtrafik, är idag svårt. Inom ICAO har man träffat en överenskommelse om att inte införa styrmedel på växthusgasutsläpp från internationell luftfart före nästa sammankomst som äger rum under hösten 2007. Både en bränsleskatt och en CO<sub>2</sub>-avgift kan ses som styrmedel på växthusgasutsläpp. Efter ICAOs sammankomst kan situationen se annorlunda ut. Att införa en nationell skatt på flygbränsle, på inrikesflyget eller på flygtrafik mellan länder som slutit bilaterala avtal därom kan däremot vara möjligt i enlighet med EU:s Energiskattedirektiv. Dessutom har EU kommissionen lagt ett förslag om att införa handel med utsläppsrätter för flyget från 2011/2012. Formellt beslut är dock inte fattat i frågan.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
1 Inledning.....	5
2 Emissioner av växthusgaser från flyget .....	6
2.1 Klimatpåverkan från flygets emissioner .....	6
2.1.1 Mått på klimatpåverkan av kortlivade gaser och partiklar .....	8
2.2 Historiska och nuvarande emissioner av CO <sub>2</sub> & NO <sub>x</sub> .....	11
2.3 Åtgärder för emissionsreduktioner.....	13
2.3.1 Potential för emissionsreduktioner.....	13
2.3.2 Åtgärdskostnader.....	16
3 Styrmedel .....	18
3.1 Marknadsbaserade styrmedel.....	18
3.2 Styrmedel i Sverige för flyget.....	19
3.2.1 Tidigare styrmedel för luftfarten .....	20
3.2.2 Aktuella avgifter inom flyget.....	20
3.2.3 Planerade styrmedel .....	21
4 Samhällsekonomiska kostnader för införande av skatter & avgifter för flyget .....	22
4.1 Styrmedel för koldioxidutsläpp.....	22
4.1.1 Skatter eller auktionerade utsläppsrätter .....	22
4.1.2 Skatter eller fri tilldelning av utsläppsrätter .....	24
4.2 Styrmedel för kväveoxidutsläpp.....	25
4.3 Avvägning mellan CO <sub>2</sub> -skatt/bränsleskatt, utsläppsrätter och NO <sub>x</sub> -avgift.....	26
4.4 Möjligheter att införa styrmedel på flygets utsläpp.....	27
5 Diskussion .....	28
6 Slutsatser .....	29
7 Referenser.....	31

# 1 Inledning

I denna studie analyseras de samhällsekonomiska konsekvenserna av att införa skatter och avgifter för flyg inom svenskt luftrum. De styrmedel som analyseras är koldioxidskatt, bränsleskatt och NO<sub>x</sub>-avgifter. Utifrån två olika scenarier med tänkta (fiktiva) mål för flygets emissioner av koldioxid och NO<sub>x</sub> beskrivs och analyseras kostnaderna för flygsektorn, staten och samhället. Scenarierna inkluderar emissionsmål för CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> till två tidshorisonter; 2010 respektive 2020.

Målen för CO<sub>2</sub> som satts upp i scenarierna i denna studie är:

1. att emissionerna år 2010 fryses på 1990 års nivå,
2. att utsläppen reduceras från 1990 års nivå med 20% till år 2020

Målen för NO<sub>x</sub> som satts upp i scenarierna i denna studie är:

1. att emissionerna fryses på dagens (2005 års) nivå till år 2010
2. att utsläppen minskas från dagens (2005 års) nivå med 20% till år 2020.

Emissionsscenario 2 för koldioxid ligger i linje med EU kommissionens mål om att minska utsläppen av växthusgaser från 1990 års nivå med 20% till år 2020.

Analysen är genomförd för två olika fall, dels för om scenarierna endast skulle omfatta inrikes-trafiken och dels om de omfattar både inrikes- och utrikestrafik. Syftet med att göra denna uppdelning är att kunna se vilka effekter nationella styrmedel som endast omfattar inrikes utsläpp medför. Det svenska åtagandet enligt Kyotoprotokollet innefattar t.ex. endast inrikes utsläpp och av den anledningen kan det också vara intressant att se effekten separerad från utrikestrafiken. Enligt Sveriges officiella statistik (NIR, 2007) står dock utrikestrafiken för 75% av CO<sub>2</sub>-utsläppen (2005) och 77% av NO<sub>x</sub>-utsläppen (2005) och skillnaderna av att inkludera samtliga emissioner i scenarierna blir betydande.

I kap 2 beskrivs emissioner av klimatpåverkande ämnen från flyget samt åtgärder och potentialer för att minska dessa utsläpp. I kap 3 beskrivs ett urval av styrmedel dels i allmänhet och dels i synnerhet för flyget. De styrmedelsalternativ som går igenom är avgifter, skatter och system för handel med utsläppsrätter. I kap 4 beskrivs kostnadsfördelningen mellan olika delar av samhället till följd av införandet av skatter och avgifter för NO<sub>x</sub> och CO<sub>2</sub> utsläpp från flyget. I kap 5-6 återfinns diskussion och slutsatser.

## 2 Emissioner av växthusgaser från flyget

En rad olika utsläpp sker från flygplan. Flertalet substanser har en direkt eller indirekt påverkan på jordens strålningsbalans och därmed på klimatet. I denna studie kommer vi att fokusera på utsläpp av koldioxid, CO<sub>2</sub>, och kväveoxider, NO<sub>x</sub>, samt ge en lägesrapport om kunskapen av klimatpåverkan från utsläpp av partiklar.

### 2.1 Klimatpåverkan från flygets emissioner

Flygtrafikens påverkan på klimatet uttrycks vanligtvis som ett linjärt förhållande mellan förändring i yttemperatur  $\Delta T$ s och påverkan på strålningsbalansen, radiative forcing (RF). Proportionen mellan  $\Delta T$ s och RF bestäms av känsligheten i klimatsystemet,  $\lambda$ , som på engelska brukar kallas *efficacy*. I tidigare studier ansågs  $\lambda$  oftast vara en högst osäker parameter, men att det var en konstant. Nyare studier baserade på mer avancerade modellberäkningar visar att  $\lambda$  varierar för utsläpp av olika substanser och beroende på fysisk placering, främst beroende på höjden, på vilken utsläppen sker (Ponater m. fl., 2005 & 2006, Grewe m. fl., 2007). Tabell 2-1 visar hur  $\lambda$  varierar för olika utsläpp från flyget.

Tabell 2-1. Klimatkänslighetsparametrar och efficacy faktorer för olika ämnen och olika regioner beräknade med atmosfär-oceanisk modell E39-MLO (Ponater m. fl., 2005 & 2006). O<sub>3</sub>-Is och O<sub>3</sub>-ut betecknar en homogen förhöjning av ozon i lägre stratosfären respektive i övre troposfären. Bägge måtten avser norra hemisfären. Index "subsonic" betecknar förändring på grund av utsläpp från subsoniskt<sup>1</sup> flyg (Grewe m. fl., 2007).

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>3</sub> -Is	O <sub>3</sub> -ut	O <sub>3subsonic</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>subsonic</sub>	Kondensstrimmor
$\lambda$ [K/(W/m <sup>2</sup> )]	0.73	0.86	1.31	0.55	0.88–1.15	0.83	0.43
<b>Efficacy factor</b>							
$\lambda / \lambda_{\text{CO}_2}$	1	1.18	1.80	0.75	1.20–1.56	1.14	0.59

Utsläpp från flyget påverkar yttemperaturen genom flertalet mekanismer:

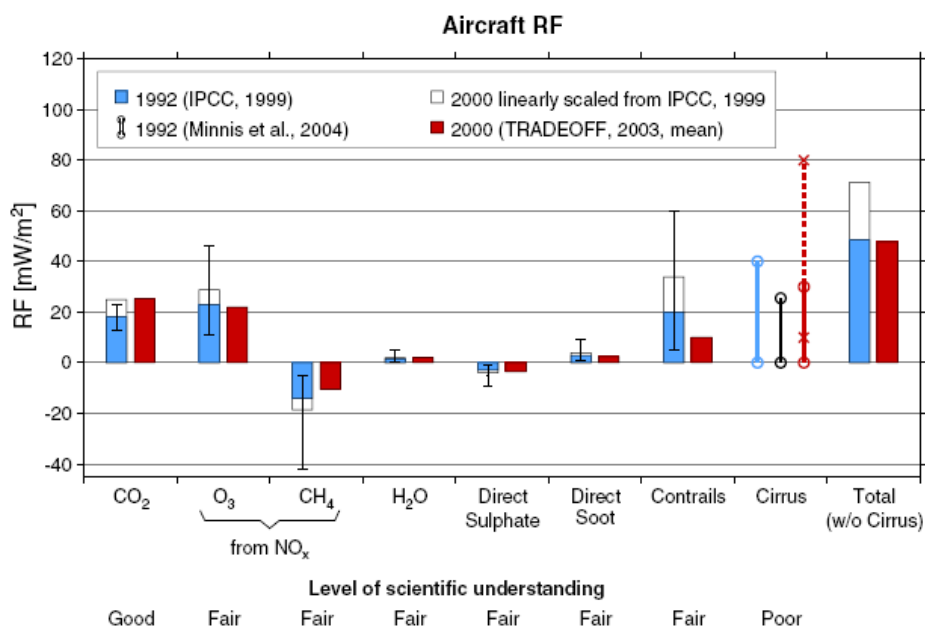
- positivt genom emissioner av CO<sub>2</sub>,
- positivt genom emissioner av vattenånga,
- positivt genom bildning av ozon från emissioner av kväveoxider och flyktiga kolväten,
- negativt genom ökad nedbrytning av metan som är resultat av fotokemiska reaktioner av kväveoxider,
- negativt genom direkt påverkan av emissioner av sulfatpartiklar,
- positivt genom direkt påverkan av emissioner av sot,
- positivt genom bildning av linjära kondensstrimmor,
- positivt genom ökad förekomst av cirrusmoln från utspridda kondensstrimmor och
- positivt eller negativt genom ändrade egenskaper av cirrusmoln p.g.a. utsläpp av partiklar.

<sup>1</sup> Subsoniskt flyg är flyg med hastigheter lägre än ljudhastigheten.



Figur 2-1 visar RF av olika komponenter från flygtrafik beräknade för år 2000 enligt IPCC (1999) och EU FP6 projekt TRADEOFF (Sausen m. fl., 2005). Förståelsegraden av de olika effekterna är angiven under x-axeln i figuren. Det uppskattade värdet på RF till följd av kondensstrimmor är lägre i TRADEOFF-studien än i tidigare studier på grund av bättre kunskap om strimmornas optiska egenskaper. Fortfarande återstår dock en ganska hög grad av osäkerhet. Den specifika påverkan på strålningsbalansen från kondensstrimmor varierar beroende av tidpunkt för utsläppen (dag/natt) och beroende på geografisk belägenhet. Ännu större osäkerhet råder kring uppskattningen av klimatpåverkan från cirrusmoln som bildas av utspridda kondensstrimmor. Konsensus råder dock om att nettoeffekten av cirrusbildningen är en uppvärmning, men i dagsläget är det inte möjligt att kvantifiera den.

I Figur 2-1 återspeglas osäkerheten för IPCC-värdena av linjerna som visar 2/3 av konfidensintervallet. Linjer med cirklar visar olika uppskattningar av spannvidden av RF från cirrusmoln orsakade av utsläpp från flyg. De streckade linjerna med kryss visar den övre gränsen för RF från cirrusmoln bildade till följd av utsläpp från flyg.



Figur 2-1 RF [mW/m<sup>2</sup>] orsakad av utsläpp från flyg för år 1992 och 2000, baserat på IPCC (1999) och resultat från TRADEOFF-projektet. (Sausen m. fl., 2005)

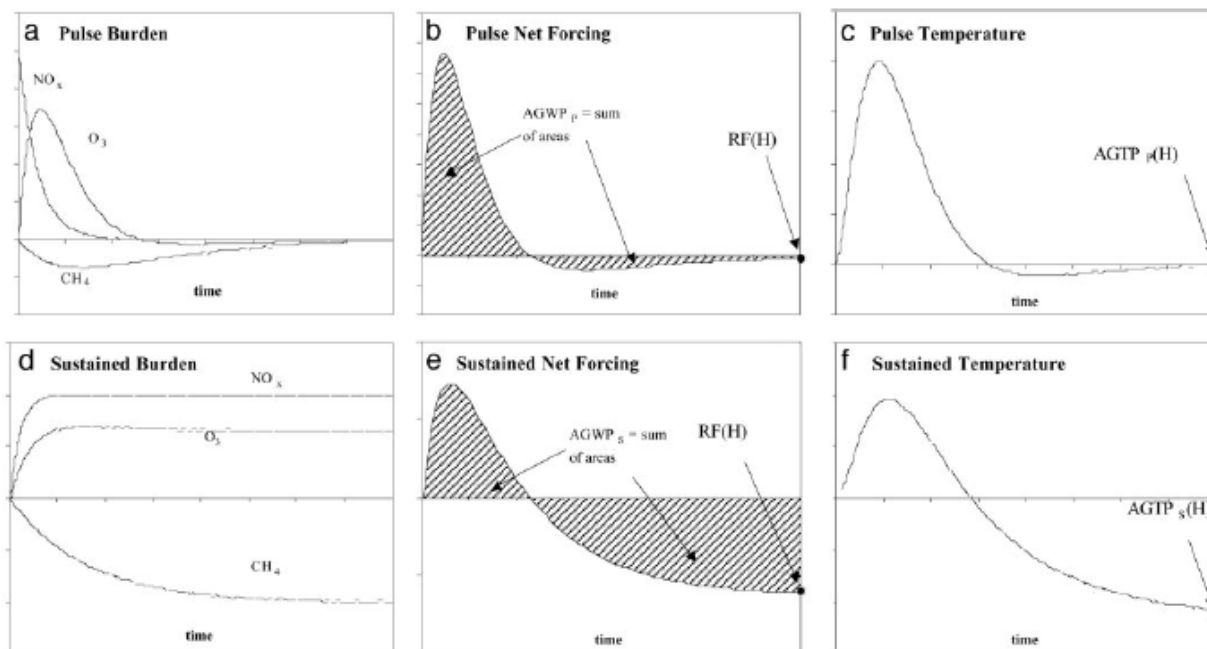
I Figur 2-1 beskrivs både den direkta klimateffekten till följd av utsläpp av partiklar från flyg (sulfat-aerosoler) och den indirekta effekten genom bildning av kondensstrimmor och cirrusmoln som uppstår från utspridda kondensstrimmor. Partiklar som släpps ut i UT-LS-regionen<sup>2</sup> bidrar också indirekt till molnbildning som kan ske vid ett tillfälle långt senare än själva utsläppen. Små sulfatpartiklar, som alltid finns i UT-LS regionen tack vare sin långa livslängd, kan initiera isbildningen genom homogen iskärnebildning (svavelsyralösningen fryser till is och fungerar som kärna för fortsatt isbildning) när ismättnaden överstiger 145% och temperaturen är lägre än -38°C. När det finns andra partiklar i omgivningen som kan agera som kärnor för heterogen iskärnebildning (is bildas på en kärna av ett annat material), bildas ispartiklar redan vid 120-130% isövermättnad.

<sup>2</sup> UT-LS-regionen, (Upper Troposphere – Lower Stratosphere region), d.v.s. regionen i de övre delarna av troposfären och lägre delarna av stratosfären.

Mätningar av temperatur och luftfuktighet tillsammans med uppgifter om förekomst av cirrusmoln i UT-LS regionen visar att det finns både områden där molnbildningen sker genom homogen iskärnebildning respektive områden där molnbildningen sker genom heterogen iskärnebildning, men andelen av respektive process i den globala cirrusmolnbildningen är inte klarlagd. Om flyget släpper ut partiklar i en luftmassa som domineras av homogen iskärnebildning kommer partiklar från flyget bidra till att iskärnor bildas tidigare än om endast bakgrundspartiklar är närvarande och på detta sätt "konkurrera ut" homogen iskärnebildning. Eftersom halten av bakgrundspartiklar generellt sett är mycket högre än halten av partiklar utsläppta från flyget, kommer de bildade cirrusmolnen ha färre och större partiklar, vilket innebär lägre optiskt täthet och därmed kommer flygets partiklar att ha en kylande klimateffekt. Om partiklar däremot släpps ut i en luftmassa som redan domineras av heterogen iskärnebildning, bidrar de tillförda partiklarna till att antalet iskärnor i cirrusmolnet blir större och resultatet blir moln med större antal partiklar, högre optisk täthet och effekten blir en uppvärmning. Partikelutsläpp från flyg som bidrar till bildning av cirrusmoln kan alltså ha både kylande och värmande effekt beroende på i vilken miljö partiklarna släpps ut. Att kvantifiera effekten av partikelutsläpp från flyget genom den förändring i egenskaper av cirrusmoln som det bidrar till är inte möjligt i dagsläget eftersom de saknas detaljerad kunskap om global fördelning av temperatur, fuktighet och förekomst av cirrusmoln i UT-LS regionen som skulle ge möjlighet att modellera processen och verifiera resultaten.

### 2.1.1 Mått på klimatpåverkan av kortlivade gaser och partiklar

Klimatpåverkan av långlivade växthusgaser, så som CO<sub>2</sub>, är densamma oavsett var och när på dygnet eller under året utsläppen sker. Klimateffekter av andra gaser och partiklar med betydligt kortare livstider i atmosfären varierar beroende på var och när de släpps ut. Effekter av kväveoxider involverar komplexa atmosfärskemiska processer som verkar på olika tidsskalor. Ozonbildning, till följd av utsläpp kväveoxider har en förhållandevis kort tidsskala, och påverkar strålningsbalansen under ca ett år efter utsläppet. Effekten på metan till följd av kväveoxidutsläpp är däremot en process som verkar under många år efter utsläppet. Påverkan på strålningsbalansen till följd av en pulsemission av kväveoxider avtar därför med tiden och kan så småningom även bli negativ. RF som presenteras i Figur 2-1 är ett mått som återspeglar den historiska utvecklingen av flygemissioner men inte säger någonting om påverkan från emissionerna i framtiden, något som är viktigt att ta hänsyn till vid utformning av en långsiktigt hållbar klimatpolitik. Figur 2-2 från Shine m. fl. (2005) visar schematiskt hur en pulsemission (a-c) och kontinuerliga emissioner (d-f) av NO<sub>x</sub> påverkar koncentrationen av ozon och metan och dess absoluta global warming potential (AGWP) samt den absoluta globala temperaturpotentialen (AGTP).



Figur 2-2 Schematisk bild av mått på klimatpåverkan från utsläpp av  $\text{NO}_x$ , som leder både till förändring i ozonkoncentrationen och i koncentrationen av metan. (Shine m. fl., 2005)

I Figur 2-2 visar bilderna a-c fall med en diskret pulsemission av  $\text{NO}_x$  medan bilderna d-f visar en bestående förändring av emissionerna av  $\text{NO}_x$ . Bild a och d visar utvecklingen av koncentrationerna av  $\text{NO}_x$ , ozon och metan. Bild b och e visar nettopåverkan på strålningsbalansen, RF (ozon + metan, individuella RF för respektive gas följer kurvorna för koncentrationen i a respektive d). Absolut GWP (AGWP) beräknas genom att tidsintegrera RF över en viss tidshorisont (H). Nettoeffekten av påverkan på ozon och metan för ett givet utsläpp till en given miljö beror av H. RF vid tiden H skulle kunna användas som mått på klimatpåverkan. Bild c och f visar förändringar i global ytmedeltemperatur motsvarande RF från bild b och e. AGTP är ett annat möjligt mått på klimatpåverkan.

$\text{NO}_x$ -emissionernas påverkan på koncentrationen av ozon och metan varierar kraftigt beroende på till vilken kemisk miljö utsläppen sker och vilken fotokemisk aktivitet som råder vid tidpunkten för utsläppen, med andra ord var och när emissionerna sker. Tabell 2-2 visar kvoter mellan RF, GWP (Global Warming Potential) och GTP<sup>3</sup> för samma utsläpp av  $\text{NO}_x$  i Asien och i Europa (Shine m. fl., 2005). Som framgår av tabellen är de flesta kvoterna större än 1 vilket betyder att påverkan från emissionerna blir större då utsläppen sker i Asien jämfört med då de sker i Europa. Dessa värden är dock inte beräknade särskilt för utsläpp från flyg. GWP för  $\text{NO}_x$  och kondensstrimmor från flyg enligt Forster m. fl. (2005) presenteras i Tabell 2-3

<sup>3</sup> GTP = Global temperature potential, global temperaturpotential.

Tabell 2-2 Värden för olika indikatorer och mått för effekten av emissioner av NO<sub>x</sub>, presenterade som kvoter av påverkan från lika stora emissioner i Asien och i Europa. Index p betyder puls-emission, index s fortskridande (*sustained*) emission (från Shine m. fl., 2005). Värden presenteras som intervaller som erhållits från modellsimuleringar med hjälp av två kemiska transportmodeller (CTM), tre RF-koder och två globala cirkulationsmodeller.

Kvantitet (tidshorisont given i år)	Ozon	Metan	Ozon och metan
<b>Global medel påverkan av fortskridande emissioner</b>	3,6-6,1	3,6 – 3,8	Ej applicerbart
<b>RF för fortskridande emissioner</b>	4,6-13,5	3,6 – 3,8	3 - 9
<b>GWP<sub>p</sub> (100)</b>	4,6-12,3	3,6 – 3,8	-9,4 – 0,7
<b>GWP<sub>s</sub> (100)</b>	4,6 - 11,7	3,6 – 3,8	-5,8 – 37
<b>GTP<sub>s</sub> (100)</b>	4,6 – 13,6	3,6 – 3,8	-3,2 – 0,8
<b>GTP<sup>1</sup><sub>s</sub> (100)</b>	3,6 – 10,7	3,6 – 3,8	-0,1 – 14,7

Tabell 2-3 AGWP värde för CO<sub>2</sub> och ungefärliga värden för icke-CO<sub>2</sub> AGWP från flyg för olika tidshorisonter.

Tidshorisont (2000 start) (år)	CO <sub>2</sub> AGWP	CH <sub>4</sub> och O <sub>3</sub> netto AGWP	kondensstrimmor AGWP	CO <sub>2</sub> EWF
<b>1</b>	0,25	2,0	6,7	36
<b>20</b>	2,65	0,37	6,7	3,7
<b>100</b>	9,15	0,012	6,7	1,7
<b>500</b>	29,9	-0,009	6,7	1,2

Enheten för AGWP är 10<sup>-14</sup>Wm<sup>-2</sup> kgCO<sub>2</sub><sup>-1</sup> år. Den sista kolumnen anger den totala effekten, sammanräknad som CO<sub>2</sub> EWF (Emission-Weighting Factor), för flyget för en given tidshorisont. Detta mått beräknas som summan av de första tre kolumnerna dividerat med CO<sub>2</sub> AGWP.

Tabell 2-3 visar att klimatpåverkan av NO<sub>x</sub><sup>4</sup>, uttryckt som GWP, sjunker ju längre tidshorisont som effekten är beräknad över. Med hänsyn till tidsperspektivet på tekniska och politiska åtgärder och osäkerheter kring GWP-beräkningar rekommenderar Shine m. fl. (2005) att man använder sig av en tidshorisont på ca 20 år för GWP. Netto GWP orsakade av NO<sub>x</sub>-emissioner från flyg är ca 1/7 av AGWP av CO<sub>2</sub> vid en tidshorisont på 20 år. AGWP för utsläpp av NO<sub>x</sub> från individuella flygplan varierar dock kraftigt beroende på tid och plats av utsläppet.

I sin fjärde rapport om klimatförändringarna tar IPCC (2007) inte ställning till vilken tidshorisont som är den givna att använda vid t.ex. GWP beräkningar. Man anger faktorer för tidshorisonterna 20, 100 respektive 500 år. I Kyotoprotokollet har man dock bestämt sig för att använda tidshorisonten 100 år. Ytterligare ett argument för det något längre tidsperspektivet 100 år är att en stor del av ett utsläpp av CO<sub>2</sub> (ca 2/3) som sker idag på 100 års sikt försvunnit igen ur atmosfären. Oavsett vilket tidsperspektiv man väljer, 20 eller 100 år så visar Tabell 2-3 att påverkan på klimatet från CO<sub>2</sub>-utsläppen är av större betydelse än utsläppen av NO<sub>x</sub>. Detta betyder att åtgärder som minskar utsläppen av bränsleförbrukningen och därmed CO<sub>2</sub> är viktiga. Att införa åtgärder som minskar klimatpåverkan från NO<sub>x</sub> men ökar bränsleförbrukningen resulterar snarare i en större klimatpåverkan än tidigare.

<sup>4</sup> klimatpåverkan från NO<sub>x</sub> visas i kolumnen med CH<sub>4</sub> och O<sub>3</sub>.

## 2.2 Historiska och nuvarande emissioner av CO<sub>2</sub> & NO<sub>x</sub>

När man talar om utsläpp från flyget bör man definiera noggrant vilken omfattning man talar om; inrikes, nationellt eller internationellt flyg. Ibland används också begreppen civilt flyg och bunkerbränslen. Tabellen nedan redovisar skillnaderna mellan dessa olika begrepp. För de svenska miljömålen som är uppsatta är det de inrikes utsläppen, d.v.s. civil flygtrafik som är utgångspunkten. Det är dessa siffror som utgör den svenska officiella statistiken och som rapporteras till FN i klimatrapporteringen. Inrikes och internationella emissioner kan adderas utan att dubbelräkna, medan man ej kan lägga samman nationellt och internationellt.

Tabell 2-4. Omfattning av emissioner från luftfarten – skillnader mellan begrepp

Benämning	Omfattning
Inrikes	Mellan inrikes destinationer. Det är detta som rapporteras i den svenska statistiken och kallas även civilt flyg (militärt flyg rapporteras ej).
Nationellt	Trafik inom svenskt luftrum, inkluderar både inrikes och delar av utrikes-trafiken, d.v.s. den del av avgångar och ankommande internationella flygningar som sker över svenskt luftrum. Notera dock att överflygningar (som varken avgår eller ankommer en svensk flygplats) ej ingår i nationell trafik.
Internationellt	Avgångar och ankomster med utländsk pol (antingen avgång eller destination). Detta noteras som en "memo item" i den svenska klimatrapporteringen och går under benämningen internationella bunkerbränslen.

### CO<sub>2</sub>-emissioner

Tabell 2-4 visar statistik på utsläpp av CO<sub>2</sub> från svenskt flyg enligt olika källor. Enligt Luftfartsstyrelsens miljömålsrapport (2007) grundar sig Luftfartsstyrelsens (LS) emissionsstatistik på beräkningar baserat på luftfartens rörelsestatistik. Statistiska Centralbyrån (SCB), som tar fram den svenska officiella statistiken som används vid den svenska rapporteringen till FN grundar sig på statistik över mängden sålt bränsle. Enligt LS har de inrikes utsläppen av koldioxid från flygbränslen i Sverige minskat från 675 kton år 1990 till 543 kton år 2005, en minskning med nästan 20%. De totala koldioxidutsläppen, d.v.s. inrikes och utrikes från avgång till destination, har enligt LS ökat med 3,4% från 1990 till 2005. Det betyder att det är utrikestrafiken som står för ökningen. Enligt Sveriges internationella klimatrapportering (NIR, 2007) har de inrikes utsläppen minskat från 673 kton år 1990 till 662 kton år 2005, en minskning på endast 1,6% (att jämföra med LS uppskattning om en minskning på 20%). För internationell bunker har utsläppen ökat från 1 335 kton 1990 till 1 936 kton 2005, d.v.s. en ökning med 45%. Totalt sett har utsläppen från luftfarten ökat med 29% enligt NIR (2007). LS och SCBs statistik skiljer sig avsevärt åt och de bägge myndigheterna håller tillsammans med Energimyndigheten på att utreda vari skillnaden mellan de olika beräkningssätten ligger.

Det finns också uppskattningar av utsläpp av koldioxid från svenskt flyg baserat på globala flygrörelsedata (Owen & Lee, 2006). Enligt dessa var emissionerna av CO<sub>2</sub> från svenskt inrikesflyg 1102 kton år 1990. Enligt samma källa var utsläppen år 2000 från svenskt inrikesflyg 837 kton. Detta innebär en minskning av inrikesflygets utsläpp om 24%. Enligt Owen & Lee (2006) hade dock CO<sub>2</sub>-emissionerna år 2005 från svenskt inrikesflyg stigit till 1084 kton, vilket innebär en minskning med endast 1.6% jämfört med 1990 års nivå. Vad skillnaderna mellan de olika källorna består i är inte helt klarlagt. Skillnader i data för internationellt flyg kan dock bero på att man använder olika fördelningsprinciper, något som spelar stor roll. I denna studie utgår vi från Sveriges officiella statistik som är den som SCB tar fram och som rapporteras i den internationella klimatrapporteringen.

Tabell 2-5. Utsläpp av CO<sub>2</sub> från flyget i Sverige enligt olika källor.

Källa	CO <sub>2</sub> [kton]			
	Inrikes		Utrikes	
	1990	2005	1990	2005
Luftfartsstyrelsen	675	543	1250	1900
SCB/ NIR (2007)	673	662	1335	1936
Owen & Lee (2006)	1102	1084	929	1389

### NO<sub>x</sub>-emissioner

Enligt LS beräkningar var NO<sub>x</sub>-emissionerna från civilt inrikesflyg ca 2000 ton och för utrikes avgångar ca 5500 ton år 1995, vilket gav totala utsläpp om ca 7500 ton. År 2006 var utsläppen av NO<sub>x</sub> från inrikes trafik ca 2000 ton och utrikes avgångar ca 8000 ton. Enligt NIR (2007) har emissionerna av NO<sub>x</sub> från civilt flyg varierat något under perioden (1995 – 2005) men inte ändrats mycket från 2725 ton år 1990 till 2780 ton år 2005. De rapporterade emissionerna från bunkerbränslen (internationellt) flyg har däremot ökat från 5402 ton år 1990 till 9087 ton år 2005.

Tabell 2-6. Utsläpp av NO<sub>x</sub> från flyget i Sverige enligt olika källor.

Källa	NO <sub>x</sub> [ton]					
	Inrikes			Utrikes		
	1990	1995	2005	1990	1995	2005
Luftfartsstyrelsen	i.u.	2000	2000	i.u.	5500	8000
SCB/ NIR (2007)	2725	2440	2780	5402	6105	9087

### Framtida emissioner

Energimyndigheten (2007) har gjort uppskattningar om utvecklingen av flygsektorn i framtiden. Bland annat har man gjort uppskattningar av hur mycket bränsleförbrukningen kommer att öka i framtiden. Detta ingår som en del i långsiktsprognoisen för transportsektorns energianvändning. I Tabell 2-7 nedan visas hur flygbränsleanvändningen inom Sverige antas förändras till 2010 respektive 2020. Eftersom bränsleförbrukningen är direkt proportionell mot CO<sub>2</sub>-utsläppen kan vi räkna fram prognosvärden för CO<sub>2</sub>-emissionerna till dessa år, se Tabell 2-7.

Tabell 2-7 Flygets energianvändning 1990-2020.

Bränsle	Enhet	1990	2000	2001	2010	2020	2000-2010 %	2010-2020 %
Flygbränsle, inrikes	1000 m <sup>3</sup>	320	283	266	281	279	-0,7%	-0,7%
Flygbränsle utrikes	1000 m <sup>3</sup>	621	848	798	855	1025	8,3%	19,9

Källa: Energimyndigheten (2007). I Energimyndighetens uppskattningar anges värden för år 2004, 2015 och 2025 och vi har beräknat värden för 2010 och 2020 genom linjär interpolation.

Tabell 2-8 Flygets CO<sub>2</sub>-emissioner [kton] 2000-2020

Delsektor	1990	2000	2010	2020	2000-2010 %	2010-2020 %
Inrikes (civilt flyg)	673	644	640	635	-0,7%	-0,7%
Utrikes (bunker)	1335	1926	2085	2500	8,3%	19,9%

Källa: NIR (2007) samt egna beräkningar för år 2010 och 2020 baserat på prognosen för bränsleanvändningen given i Tabell 2-7.

I Energimyndigheten (2006 & 2007) har man historiska data på bränsleanvändning i flygsektorn. På grund av den trade-off effekt som finns mellan CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> vid utveckling av motorer så har utsläppen av NO<sub>x</sub> per mängd förbränt bränsle ökat. Detta eftersom det historiskt sett har varit mest lönsamt att minska bränsleförbrukningen (som är direkt proportionell mot CO<sub>2</sub>-utsläppen).

I Tabell 2-7 och Tabell 2-9 framgår hur bränsleanvändningen respektive utsläppen av NO<sub>x</sub> har förändrats under åren 1990-2001. Det finns inte ett lika entydigt samband mellan NO<sub>x</sub>-emissioner och bränsleförbrukning som det finns mellan CO<sub>2</sub>-emissioner och bränsleanvändning, men vi har med hjälp av linjär regression tagit fram ett samband mellan NO<sub>x</sub>-utsläppen och bränsleanvändningen som vi använt för att beräkna förväntade NO<sub>x</sub>-utsläpp per mängd använt bränsle för år 2010 och 2020. Genom att utgå från den förväntade ökningen i bränsleanvändningen som framgår av Tabell 2-7 samt det beräknade värdet av NO<sub>x</sub>-utsläpp per använd bränslemängd har vi beräknat prognosvärden för NO<sub>x</sub>-emissioner från flyget för 2010 och 2020, se Tabell 2-9.

Tabell 2-9 Flygets NO<sub>x</sub>-emissioner [kton] 1990-2020.

Delsektor	1990	2000	2001	2005	2010	2020
Inrikes (civilt flyg)	2,725	2,61	2,39	2,780	2,700	2,680
Utrikes (bunker)	5,40	8,66	8,68	9,087	10,500	14,400

Källa: NIR 2007 (1990-2005) och Energimyndigheten (2007), egna beräkningar för 2010 och 2020 baserat på trend för förhållande mellan NO<sub>x</sub>-utsläpp och bränsleförbrukning samt prognosen för bränsleförbrukning.

## 2.3 Åtgärder för emissionsreduktioner

### 2.3.1 Potential för emissionsreduktioner

Enligt Särnholm & Gode (2007) leder förbättrad teknik till en minskning av bränslekonsumtionen med ca 1-2% per år och man har inom flygindustrin satt upp mål om att minska bränsleförbrukningen med 50% per passagerarkilometer till 2020. Förklaringen till de reduktioner som hittills har åstadkommit inom branschen är främst introduktionen av större flygplan vilket ger lägre bränsleförbrukning per person.

Det finns en trade-off effekt mellan bränsleförbrukning och NO<sub>x</sub>-utsläpp från flygplan som innebär att då man ökar effektiviteten i jetmotorer och därmed minskar utsläpp av CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O och CO så ökar man ofta samtidigt NO<sub>x</sub>-utsläppen. Detta förklaras genom att NO<sub>x</sub> beror av temperaturen i motorns förbränningskammare och påverkas av det totala trycket i processorn. Högt tryck medför sänkt bränsleförbrukning och eftersträvas därför. För att minska utsläppen av NO<sub>x</sub> under marschfasen behöver man utveckla avancerade kompressorer och för att minska utsläppen vid take-off kan

man utveckla teknik med vatteninjektion. Injektion av vatten sänker temperaturen i förbränningskammaren (Daggett 2004). Även om NO<sub>x</sub>-utsläppen per mängd förbränt bränsle har ökat under senare år så har inte NO<sub>x</sub>-utsläppen per transportarbete ökat eftersom det samtidigt har skett en effektivisering av bränsleanvändningen per transportarbete (Johansson, 2002).

Keller m.fl. (prep.) behandlar åtgärdskostnader för växthusgasemissioner i olika sektorer på EU nivå. Flyget behandlas separat och man påpekar att denna sektor står för en stor del av ökningen inom icke-vägtransportdelen av transportsektorn. Dock talar man främst om olika potentialer för minskningar. Nedan återfinns en beskrivning av olika åtgärder från Keller m.fl. samt andra studier.

### **Optimering av flygoperationer på flightnivå**

Ny utrustning i form av kommunikation, navigering och övervakningssystem, skulle kunna medföra att det blir möjligt att optimera flygningar med avseende på flyghöjd och hastighet, något som också skulle kunna minska förseningar i luftrummet. Man räknar med att bränslesparingarna skulle kunna vara så stora som 9.5% till 2010. Generellt kan man säga att ruttoptimering verkar vara ett mycket kostnadseffektivt sätt att minska klimatpåverkan från flyget, även om de stora vinsterna förmodligen görs på långdistansflygningar.

Ecodriving talas det ofta om som åtgärd inom vägtransportsektorn, men är möjligt även för flyget. Ecodriving handlar mest om att anpassa hastigheten till förhållanden, d.v.s. flyga något långsammare i motvind och något snabbare i medvind (Särholm & Gode, 2007).

Bättre flygledning och kontakt mellan pilot och flygplats kan också medföra minskade utsläpp genom att inflygningen kan göras kortare och energisnålare. Man uppskattar att man på detta sätt kan spara 100-300 l bränsle/landning (vilket motsvarar 3-10% av åtgången för flygning mellan norra Sverige och Stockholm). Bättre flygledning/planering av rutter (mindre cirkulering innan landning) skulle kunna minska emissionerna inom Europa med 10-12% (Särholm & Gode, 2007).

Enligt Deuber & Cames (2004) kan förbättrad flight management minska bränsleförbrukningen med 5%, vilket skulle medföra reduktioner av CO<sub>2</sub> med 5% och NO<sub>x</sub> med 9.5%. Åtgärderna inkluderar minskad vikt (genom mindre personal och catering), planerad tankning (se nästa rubrik) och reducerad hastighet. Cames & Deuber (2004) påpekar att om förbättrad ATM<sup>5</sup>, övervakning och ruttoptimering endast inriktar sig på bränsleförbrukning och ekonomiska incitament finns en risk för att man ökar bildningen av strimmor och cirrusmoln och att man därmed ökar den totala klimatpåverkan från flyget. Av dessa skäl kan vara vettigt att också ha någon form av restriktion på flyghöjd (som kan komma att bli olika för olika regioner och årstider).

Cames & Deuber (2004) påpekar att underhåll av flygplanen (som visserligen redan idag är av mycket hög standard på grund av säkerhetsaspekter) medför att man kan spara mycket bränsle. Man ger dock inga siffror på hur mycket.

### **Operationella åtgärder på nätverksnivå**

Att optimera var man tankar och reducera antalet tomma flygningar kan leda till ytterligare reduktioner av bränsleåtgången. Att öka lastfaktorn kan också leda till att andra flygningar blir onödiga och att man därigenom sparar bränsle.

---

<sup>5</sup> ATM = Air traffic management



## Tekniska åtgärder

De tekniska åtgärderna kan delas in i långsiktiga, som introduceras i nya flygplan, eller kortsiktiga som kan appliceras på befintlig flotta. De långsiktiga kan skyndas på genom att tidigarelägga utbytet av den äldre flottan till nyare plan.

Genom att öka effektiviteten i turbiner via tekniska åtgärder kan man minska utsläppen av koldioxid. Sådana åtgärder leder dock ofta till ökade utsläpp av NO<sub>x</sub>. Eftersom bränslekostnaden är en stor del av kostnaderna för flyget så har huvuddelen av den tekniska utvecklingen fokuserats på att minska bränsleförbrukningen. Enligt Cames & Deuber (2004) kan 0,5% av koldioxidutsläppen sparas för varje år som en gammal motor har varit operationell. D.v.s. i ett 20 år gammalt plan kan besparingarna genom byte till nya turbiner vara i storleksordningen 10%. Cames & Deuber (2004) talar också om möjligheter att reducera NO<sub>x</sub>-emissioner genom att byta ut gamla motorer med i storleksordningen 0.725% per år den gamla motorn har varit i drift. Detta innebär att om man byter en 20 år gammal motor skulle man kunna spara ca 14.5%.

Flygplanens aerodynamik kan förbättras genom winglets och riblets (räfflor). Winglets sätter man på vingspetsarna och de gör mest nytta på äldre flygplansmodeller (eftersom man på nyare modeller har optimerat utformningen mer med avseende på aerodynamiken). Riblets är små räfflor som man introducerar på planets yta och reducerar därmed luftmotståndet (drag). För bägge dessa alternativ ökar besparingen av koldioxid med flygningens längd, vilket betyder att de ger störst effekt på långdistansflygningar. Uppskattningar pekar på relativa CO<sub>2</sub> besparingar till följd av winglets på ca 2-4% och 0,5-2% för räfflor beroende på flygningens längd (se Tabell 2-10).

Tabell 2-10. Reduktioner till följd av installation av winglets och räfflor.

Reduktioner till följd av winglets			Reduktioner till följd av räfflor		
Flygningens längd [nautiska miles]	CO <sub>2</sub> reduktioner [%]	NO <sub>x</sub> reduktioner [%]	Flygningens längd [nautiska miles]	CO <sub>2</sub> reduktioner [%]	NO <sub>x</sub> reduktioner [%]
<500	1,0	1,90	<500	1,0	1,90
<1000	1,5	2,85	<1500	1,5	2,85
<1500	2,0	3,80	>1500	2,0	3,80
<2500	2,5	4,75			
<3500	3,0	5,70			
<4500	3,5	6,65			
>4500	4,0	7,60			

Källa: Cames & Deuber (2004).

Johansson (2002) påpekar att det finns risk för en återkopplingseffekt om man kan reducera flygets energianvändning och därmed kostnader så att transportarbetet istället ökar. Enligt Johansson (2002) har åtgärder som ökar energieffektiviteten (och därmed minskar CO<sub>2</sub>-utsläppen) ökat NO<sub>x</sub>-utsläppen. Denna trade-off effekt förväntas kvarstå även i framtiden men även om NO<sub>x</sub>-utsläppen per enhet förbränt bränsle har ökat så har ändå inte utsläppen av NO<sub>x</sub> per transportarbete ökat eftersom effektiviseringen av bränsleanvändning per transportarbete varit snabbare än ökningen i utsläppen av NO<sub>x</sub> per bränsleenhet. Det bedöms finnas goda möjligheter att samtidigt reducera NO<sub>x</sub> och CO<sub>2</sub>-emissioner även om det inte är möjligt att minimera de bägge utsläppen samtidigt.

Enligt Johansson (2002) kan energianvändningen inom flyget (på europeisk nivå) minskas med 3% genom flygoperativa åtgärder. I Sverige bedöms förutsättningarna vara mindre eftersom problemet med köbildning är betydligt mindre.

### Övriga åtgärder

I framtiden skulle man kunna optimera flygrutter efter klimatpåverkan, detta innebär t.ex. att undvika att flyga genom luftmassor som är ismättade och fuktiga (för att förhindra bildning av strimmor och molnbildning). Hittills har man optimerat rutter efter väder och säkerhetsaspekter och givetvis efter ekonomiska incitament som har inneburit att minimera bränsleförbrukning. En minskad bränsleförbrukning minskar visserligen en hel del av utsläppen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> etc.) men inte nödvändigtvis alla av flygets klimatpåverkande effekter. Att flyga på lägre höjd innebär visserligen en minskad bränsleåtgång vid start och landning men ökar bränsleförbrukningen under marschdelen av flygningen (p.g.a. sämre aerodynamiska egenskaper hos planen i tätare luftmassor). Dessutom kan flygtiderna förlängas. Flyger man på lägre höjder kommer man att släppa ut mer CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> och vattenånga, men klimatpåverkan från emissionerna kommer att vara betydligt mindre på grund av mindre ozonbildning, mindre bildning av strimmor och under vissa omständigheter också mindre tendens till cirrusbildning (Cames & Deuber, 2004).

Enligt Cames & Deuber (2004) finns det idag små incitament för att minska NO<sub>x</sub>, och det är viktigt att man tar hänsyn till NO<sub>x</sub> och CO<sub>2</sub>-utsläpp samtidigt. Man uppskattar att utnyttjandet av tekniska åtgärder skulle kunna minska NO<sub>x</sub> med 17% jämfört med prognos till 2020 (gäller för EU).

### 2.3.2 Åtgärdskostnader

I EU kommissionens konsekvensanalys av att inkludera flyget i EU ETS (EU COM 2006, 1685) har man med hjälp av PRIMES modellerat utfallet om man skulle välja ett slutet system för flyget. Ett slutet system innebär att alla reduktioner måste ske inom sektorn och till skillnad mot det direktivförslag som nu ligger, har flygsektorn då ingen möjlighet att köpa utsläppsrätter från andra sektorer. Man kommer då till slutsatsen att priset på utsläppsrätter i flygets system skulle hamna på ca 210 €/ton år 2015 och ca 325€/ton till 2020. Reduktionerna i dessa scenarier svarar mot ca 36% till 2015 och 45% till 2020 och BAU6 scenarierna är baserade på ICAOs<sup>7</sup> Forecasting and Economic Analysis Support Group (FESG). Utsläppstaket är då satt på 2005 års nivå. Man har också gjort en känslighetsanalys där man har ett BAU-scenario med något lägre tillväxt. I det lägre tillväxtscenariot ökar antalet passagerarkilometer med 51% mellan 2000-2010 och med 108% till 2020, vilket betyder att emissionerna ökar med 30% mellan 2005-2020. Priserna på utsläppsrätter blev i detta lägre scenario ca 100€/ton 2015 och ca 115€/ton till 2020. Man har också gjort beräkningar för öppna handelssystem, d.v.s. där flyget har möjlighet att köpa utsläppsrätter från andra sektorer och priset hamnar då avsevärt lägre; mellan 6-40 €/ton beroende på de inkluderade sektorernas tillgång till krediter från de andra flexibla mekanismerna; JI och CDM.

Särnholm & Gode (2007) har endast en åtgärdskostnadsuppskattning och det är för ecodriving och baseras på SAS besparingar under 2006. SAS (inom Sverige) sparade 160 000 ton genom effektivare flygning till en kostnad av -1563 SEK/ton, d.v.s. en besparing.

Daggett (2004) gör en kostnadsuppskattning på hur mycket det skulle kosta att minska NO<sub>x</sub> genom vatteninsprutning och hamnar på ca 2,20-2,50 €/ton. Samtidigt får man dock en bränsleökning på

---

<sup>6</sup> BAU = Business as Usual.

<sup>7</sup> ICAO = International Civil Air Organization.

ca 30 l under take-off och dessutom ytterligare en del ökning i bränsleförbrukningen under resten av flygningen, hur mycket är självklart beroende av flygningens längd. Man visar dock att med dagens nivå på NO<sub>x</sub>-avgift i Sverige (50 SEK/kg NO<sub>x</sub>) skulle det löna sig att minska utsläppen genom denna åtgärd.

I Cames & Deuber (2004) finns vissa åtgärdskostnadsdata. T.ex. uppskattar man hur stor potentialen är att minska utsläppen inom flyget fram till 2020 och ger vissa indikationer om storleken på åtgärdskostnaderna, se Tabell 2-11.

Tabell 2-11. Åtgärdskostnadsdata för CO<sub>2</sub>-utsläpp inom flyget.

Åtgärd	Minskad klimat-påverkan från	Uppfyllnad	Potential [Mton]		Åtgärdskostnad
			CO <sub>2</sub> ekviv.	CO <sub>2</sub>	
Optimering av flygrutter	C & CS, NO <sub>x</sub>	1992	37-470		<3 US\$/ton CO <sub>2</sub> ekviv.
		2010	80-1 100		<3 US\$/ton CO <sub>2</sub> ekviv.
		2020	90-1350		<3 US\$/ton CO <sub>2</sub> ekviv.
CNS <sup>8</sup> /ATM <sup>9</sup>	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O	2010	30-130	20-80	
Flight management	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O	2010	30-50	30-40	
Ökad kapacitets-utnyttjande	Alla		Låg	Låg	Trade-off mellan bekvämlighet och service
Underhåll	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O		Låg-medium	Låg-medium	Låg kostnad
<b>Motor optimering</b>					
Ökad NO <sub>x</sub> reduktion	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O	2010	3-20	0-11	Trade-off mellan NO <sub>x</sub> och CO <sub>2</sub>
		2020	35-150	0-80	Trade-off mellan NO <sub>x</sub> och CO <sub>2</sub>
Utbyte av motorer (re-engineing)	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O	Medium – lång sikt	Medium - hög		Hög kostnad
Förbättring av aerodynamiska egenskaper	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O	Kort sikt	<10	<10	
Snabbare introduktion av nya plan	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> O	2010	45-160	30-95	Hög kostnad
		2020	50-200	30-115	Hög kostnad

Källa: Cames & Deuber 2004.

Wit & Dings (2002) har också gjort uppskattningar för hur mycket CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>-emissioner från flygtrafiken i EU15 skulle kunna minska förutsatt olika typer av styrmedel. Wit & Dings uppskattningar om utsläppsminskningar från flygtrafiken i EU15 till 2010 till följd av olika avgiftsnivåer på CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> redovisas i Tabell 2-12.

<sup>8</sup> CNS = Communication, Navigation, Surveillance

<sup>9</sup> ATM = Air traffic Management.

Tabell 2-12. Emissionsreduktioner av CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> från flygtrafiken i EU15 till 2010 vid olika avgiftsnivåer för utsläppen

Avgiftsnivå		Reduktion			
CO <sub>2</sub> [SEK/ton]	NO <sub>x</sub> [SEK/kg]	Reduktion CO <sub>2</sub>		Reduktion NO <sub>x</sub>	
		[%]	[Mton]	[%]	[kton]
90	0	1,9	2,2	2,0	9
270	0	5,9	6,9	6,1	26
450	0	9,3	10,9	9,8	42
90	10,8	3,1	3,6	3,5	15
270	32,4	8,7	10,2	9,8	42
450	54,0	13	15,6	15	64

Källa: Anpassad från Wit & Dings (2002). Omräkning till SEK har gjorts genom antagandet att 9 SEK = 1 €.

### 3 Styrmedel

Externaliteter, också kallade externa effekter, är företeelser som äger rum vid nästan alla aktiviteter och av alla aktörer i ett samhälle. Till skillnad från positiva externaliteter som ofta bidrar till välmående, orsakar negativa externaliteter ofta negativa effekter på miljön i allmänhet och den mänskliga miljön i synnerhet (t.ex. hälsa). Externaliteter (hädanefter avses negativa) är resultat av marknadsmisslyckande i den meningen att de förekommer i oreglerade marknader som inte är samhällsekonomiskt effektiva. För att korrigera dessa marknadsmisslyckanden har styrmedel ofta visat sig vara effektiva verktyg för att reglera externaliteterna och internalisera externa kostnader.

Det finns många olika typer av styrmedel, t.ex.:

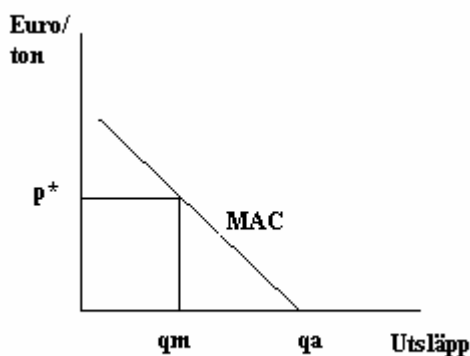
- Regleringar, såsom miljölagar;
- Marknadsbaserade styrmedel;
- Information, till producenter eller konsumenter. För producenter handlar det om information om kostnadseffektiva åtgärder t.ex. användning av miljövänlig teknik. För konsumenter handlar det om upplysningar med syfte att beakta miljön och välja miljövänligare alternativ.

#### 3.1 Marknadsbaserade styrmedel

För marknadsbaserade styrmedel finns det möjlighet att välja mellan antingen utsläppsskatter, som är ett prisstyrmedel, eller handel med utsläppsrätter som är ett kvantitetsstyrmedel. Genom att sätta nivån på skatten bestämmer man priset för utsläppen, medan man i ett handelssystem ofta bestämmer den tillåtna mängden utsläpp och därefter bestämmer marknaden priset för utsläppen.

I en värld med fullkomlig kännedom om MAC (Marginal Abatement Cost, marginella åtgärds-kostnads) kurvan skulle båda alternativen (skatt eller utsläppshandel) vid jämvikt leda till samma utfall. Med fullständig kännedom om MAC kurvan avses att man vet vilka åtgärder som kan genomföras för att minska utsläppen och att man känner till vilka kostnader olika åtgärder medför. MAC kurvan kan ses som efterfrågan på utsläppsrätter.

Figur 3-1 illustrerar utfallet vid valet mellan skatter och utsläppsrätter i ett fall då man känner MAC kurvan.  $q_a$  är den antagna nivån på aktuella utsläpp som inte kostar något att generera. Som beslutsfattare kan man vid kännedom om MAC kurvans utseende bestämma antingen kvantiteten av utsläpp som ska minska eller bestämma priset (skattenivån/ priset på utsläppsrätter) som kan tas ut. Som framgår av figuren kan man välja mellan att minska utsläppen från  $q_a$  till  $q_m$  (genom att sätta ett utsläppstak) eller sätta ett utsläppspris (t.ex. skattenivå) motsvarande  $p^*$ . Beroende på utseendet på MAC kurvan leder bägge valen till samma utfall.



Figur 3-1. Principskiss för förhållande mellan utsläpp, åtgärdskostnader och utsläppspris.

Att ha komplett kännedom om MAC kurvan är inte alltid möjligt vilket leder till att skatter eller utsläppsrätter som styrmedel kan leda till olika utfall.

### 3.2 Styrmedel i Sverige för flyget

För flyget finns i nuläget inga styrmedel som styr mot energieffektivare flygplan eller effektivare resande. Flygbränslet är t.ex. skattebefriat och utrikesflyget momsbefriat. Luftfartens avgiftssystem är konstruerat för att täcka investeringskostnader för infrastrukturen. En del av flygets avgifter är miljödifferierade, t.ex. är startavgifterna differentierade med avseende på  $\text{NO}_x$ -emissioner från LTO-cykeln<sup>10</sup>, se avsnitt 3.2.2. Alla transporter ger upphov till externa effekter för samhället i form av buller, utsläpp av koldioxid, kväveoxid och partiklar, slitage på infrastruktur, olyckor, trängsel etc. I den svenska transportpolitiken finns en princip om att de skatter och avgifter som tas ut av trafiken skall grundas på ett kostnadsansvar som även tar hänsyn till de externa effekter som trafiken medför (prop. 1997/98:56 s. 41). Till vilken grad detta sker, d.v.s. i vilken grad de externa effekterna har internaliserats, varierar mellan olika transportslag. Statens Institut för Kommunikationsanalys (SIKA) arbetar fortlöpande tillsammans med trafikverket med att beräkna marginalkostnader och internaliseringsgrad för olika transportslag.

I ett underlag till Godstransportdelegationen (dnr N2002:18) har internaliseringsgraden beräknats för olika transportslag (SIKA PM 2004:4). Uppgifterna gäller person- och godstransporter sammantaget. Internaliseringsgraden beräknas som kvoten mellan summan av de totala externa kostnaderna och de totala intäkterna från skatter och avgifter för respektive transportslag. För vägtrafiken anges internaliseringsgraden till 89 %, för sjöfarten till 69 % och för järnvägstrafiken till 33 %. För flyget anges av SIKA (PM 2004:4) att internaliseringsgraden beror på vilken beräknings-

<sup>10</sup> LTO = landing and take off

metod som används, men man anger inget konkret värde för något fall. Beräkningen av de totala externa kostnaderna för olika transportslag och därmed av internaliseringsgraden är i högsta grad beroende av värderingen av koldioxid. SIKA anger att koldioxidutsläpp bör värderas till ca 0,80 kronor per kg koldioxid baserat på att vi skall nå det svenska klimatmålet. Om man sätter ett separat mål för transportsektorn som säger att koldioxidutsläppen skall stabiliseras på 1990 års nivå till år 2010, är en värdering på ca 2,70 kr/kg CO<sub>2</sub> tillämpbar. Dessa värden kan jämföras med koldioxidskatten som för närvarande är 0,92 kr/kg CO<sub>2</sub>. Om en högre värdering av koldioxid används blir den nuvarande internaliseringsgraden betydligt lägre för samtliga transportslag.

### 3.2.1 Tidigare styrmedel för luftfarten

En särskild skatt på charterresor med flyg infördes år 1978. Skatten togs ut enligt lagen (1978:144) om skatt på vissa resor. Från den 1 juni 1986 var skattesatsen 300 kronor per passagerare över 12 år. Som motiv för skattens införande angavs bl.a. att den indirekta beskattning som ligger i priset på semestervistelser i Sverige är avsevärt högre än vad som är fallet i de flesta andra länder. Därför kan en skatt på turistresor till utlandet ses som ett sätt att minska den konkurrensnackdel som den inhemska turistnäringen har i fråga om svenskers val av semesterort (prop. 1977/78:98 s.8). Skatten avskaffades år 1993 då den ansågs vara diskriminerande gentemot flyget och i synnerhet charterflyget. Internationellt ansågs skatten på ett otillbörligt sätt gynna inhemsk turism. Ur ett EG-perspektiv ansågs det inte möjligt att behålla skatten, åtminstone inte för resor inom EG-området. Även i Danmark fanns en liknande skatt som avskaffades den 1 september 1991 och då vidtogs olika åtgärder för att inte överströmmingen av svenska resenärer från Sturup (Malmö) till Kastrup (Köpenhamn) skulle bli alltför stor. LFV utbetalade t.ex. ett belopp till alla som startade sin charterresa från Sturup, så att det inte skulle vara dyrare att flyga från Sturup än från Kastrup. Det ifrågasattes emellertid om inte dessa åtgärder stred mot Sveriges internationella åtaganden.

Mellan 1 mars 1989 och 31 december 1996 fanns också en miljöskatt på inrikesflyg. Skatten togs ut enligt lagen (1988:1567) om miljöskatt på inrikes flygtrafik och baserades på utsläpp av kolväten, kväveoxider och koldioxid. Vid lagens avskaffande angavs att miljöskatten på inrikes flygtrafik inte längre var något effektivt styrmedel och att avregleringen av den civila luftfarten gjort det allt svårare att tillämpa skatten på ett rättvist sätt (prop. 1996/97:14 s. 18). EG-domstolen konstaterade att miljöskatten var en skatt på bränsleförbrukning, vilket stred mot det då gällande mineralolja-direktivet (mål C-346/97, Braathens Sverige AB och Riksskatteverket, REG 1999 I-3419). Domstolen ansåg att även om skatten inte togs ut på bränsleförbrukningen i sig fanns det ett direkt och oskiljaktigt samband mellan bränsleförbrukningen och de förorenade ämnen som släpps ut vid denna förbrukning. Sverige tvingades också återbetala uttagen skatt sedan EU-inträdet (SIKA 2002).

### 3.2.2 Aktuella avgifter inom flyget

#### Luftfartsavgifter

I Sverige har LFV som huvuduppgift att ansvara för drift och utveckling av statens flygplatser och flygtrafiktjänsten. LFV är ett affärsverk som finansieras genom trafikavgifter och kommersiella intäkter. Utformningen av trafikavgifterna följer internationell praxis, vilket innebär att avgifterna inte skall vara diskriminerande eller ge högre intäkter än vad som motsvarar full kostnadstäckning och en rimlig avkastning till ägarna. För att stimulera användningen av flygplan med bättre miljöegenskaper har Sverige ett system med miljödifferentierade startavgifter vid de statliga flygplatserna. Avgifterna betalas till LFV av luftfartygets ägare eller brukare. När den tidigare lagen (1988:1567)

om miljöskatt på inrikes flygtrafik avskaffades, var syftet att miljöskatten skulle ersättas av ett system med bättre miljöstyrning, t.ex. ökad miljödifferenciering av startavgifterna. Sverige har varit drivande i det internationella luftfartssamarbetet där det har skapats förutsättningar för ett gemensamt europeiskt system för miljödifferencierade startavgifter. I mars 2004 reviderade LFV startavgifterna på de statliga flygplatserna i enlighet med detta system.

### **NO<sub>x</sub> baserad startavgift**

År 1998 infördes avgasrelaterade landningsavgifter för första gången på de statliga flygplatserna i Sverige. Avgifterna tas numera ut som startavgifter och på samtliga avgångar, inrikes såväl som utrikes och nivån styrs främst av det enskilda flygplanets utsläppsvolym av kväveoxider, men viss hänsyn tas även till kolväteutsläppen. Baserat på flygplanets certifieringsvärden beräknas kväveoxidutsläppen under en standardiserad LTO-cykel (inflygning under 3 000 fot, landning, taxning, start och stigning upp till 3 000 fot). Avgiftsnivån baseras på beräkningar av de miljökostnader kväveoxiderna orsakar. Detta betyder att man för olika typer av flygplan betalar olika mycket beroende på flygplanets prestanda. Avgiften är idag 50 SEK/kg NO<sub>x</sub>.

Enligt Luftfartsstyrelsens miljömålsrapport (2007) har utvärderingar visat att trots att emissionsavgifter för NO<sub>x</sub>-utsläpp funnits i sju år på Arlanda och Zürichs flygplats så har dessa flygplatser inte en bättre emissionsbild än andra flygplatser som inte har någon avgift. Dock tror man att detta beror på att det är för få flygplatser och länder som har infört avgiften för att det skall vara ett effektivt styrmedel och förväntar sig andra resultat om fler skulle införa liknande system.

Eftersom NO<sub>x</sub>-avgiften tas ut efter vilken miljöklass flygplanets motorer tillhör och inte genom faktiska mätningar medför det att mjuka åtgärder, som t.ex. kontinuerligt underhåll etc. som faktiskt kan minska emissionerna inte är intressanta för företagen att införa eftersom det inte förändrar klassningen för motorerna (Nerhagen m. fl. 2003). De enda åtgärder som blir intressanta är de som verkligen förändrar planetes miljöklassning, vilket främst är tekniska åtgärder.

## **3.2.3 Planerade styrmedel**

### **Handel med utsläppsrätter för flyget**

EU kommissionen lade i december 2006 ett lagförslag om att inkludera flyget i systemet för handel med utsläppsrätter. Ännu har inget formellt beslut fattats i frågan (juni 2007). Förslaget inkluderar endast CO<sub>2</sub>-utsläppen från flyget; NO<sub>x</sub>-utsläppen vill man behandla separat. Som förslaget är utformat kommer flygsektorn att inkluderas i det nuvarande systemet genom två steg, från och med 2011 inkluderas all intra-EU trafik, d.v.s. inrikes flyg och flygningar mellan EU-flygplatser. Från och med 2012 är tanken att man också skall inkludera flygningar till tredje länder (både avgångar och ankomster). Det är flygplansoperatörerna som kommer vara de som behöver visa upp utsläppsrätterna och de kommer att ha möjlighet att köpa utsläppsrätter från andra sektorer. Tilldelningen av utsläppsrätter kommer att baseras på EU-gemensamma fördelningsregler och taket bestäms baserat på genomsnittliga utsläppsnivåer under perioden 2004-2006.

### **Koldioxidbaserad startavgift**

LFV planerar att införa en intäktsneutral koldioxidavgift på sina flygplatser. Man tycker att EUs förslag ligger för långt fram i tiden och att något behöver göras nu.

## 4 Samhällsekonomiska kostnader för införande av skatter & avgifter för flyget

### 4.1 Styrmedel för koldioxidutsläpp

#### 4.1.1 Skatter eller auktionerade utsläppsrätter

Som tidigare nämnts görs beräkningar och analys i denna studie utifrån två olika scenarier med tänkta (fiktiva) mål för flygets emissioner av koldioxid. Beräkningar och analys genomförs också genom att studera olika fall för skattenivån respektive priset på utsläppsrätterna.

De emissionsmål för CO<sub>2</sub> som är uppsatta i denna studie är:

1. att frysa flygets utsläpp på 1990 års nivå till år 2010
2. att minska flygets utsläpp med 20% jämfört med 1990 utsläppsnivå till år 2020;

För beräkningarna och analysen har också ett antal antaganden gjorts, nämligen att:

- antalet inrikes resor är 4,500 miljoner och antalet utrikes resor är 16 miljoner (tur och retur) (baserat på SIKA 2006)
- att priset per tur och retur resa är 2 500 SEK för inrikes resor och 5 000 SEK för utrikes resor
- flyget ingår i ett slutet utsläppshandelssystem d.v.s. operatörerna inom flygsektorn kan ej köpa eller sälja utsläppsrätter från andra sektorer. Anledningen till att anta ett slutet handelssystem är att om man har full kännedom om MAC kurvan (som vi har antagit) så leder ett slutet handelssystem och en skatt till samma resultat vid jämvikt (se också motivering i avsnitt 4.3)
- Kostnader för skatter och/eller utsläppsrätter överförs till resenärerna
- Efterfrågepriselasticiteten på flygresor är 0.8%.<sup>11</sup>

Baserat på uppgifter från Wit & Dings (2002), se Tabell 2-12, har vi beräknat den prisnivå på utsläppsrätter/skattenivå som skulle krävas för att nå de olika utsläppsmålen.

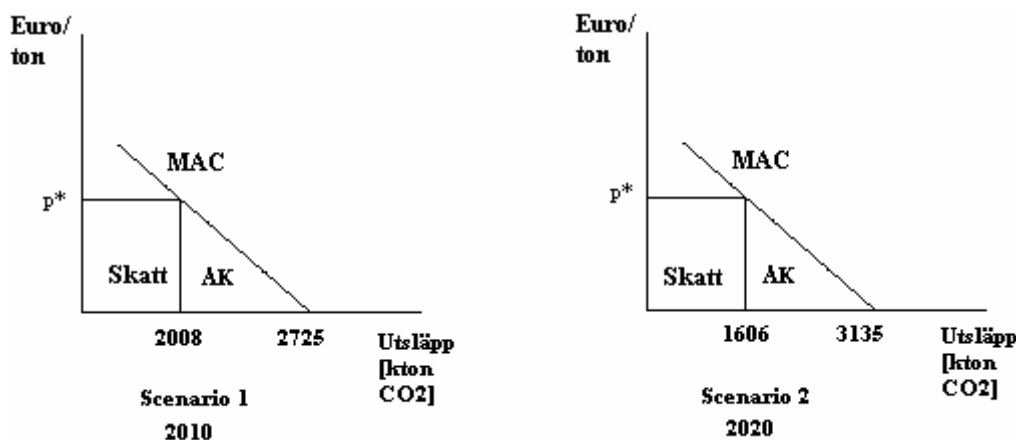
Till att börja med är beräkningar gjorda för ett scenario där målen endast omfattar inrikestrafik. För utsläppsmål 1 blir nivån då 0 SEK/ton CO<sub>2</sub> och för utsläppsmål 2 blir skattenivån 725 SEK/ton. Att nivån för utsläppsmål 1 blir 0 SEK beror helt enkelt på att prognosen för 2010 för CO<sub>2</sub>-utsläppen från inrikesflyget pekar mot en minskning jämfört med 1990 års nivå. Beräkningar gjordes också baserat på data för förhållandet mellan pris på CO<sub>2</sub> och reduktioner givna i EU COM (2006, 1685). Dessa resulterade i motsvarande priser på ca 0 SEK/ton CO<sub>2</sub> respektive 575 SEK/ton CO<sub>2</sub>. För de vidare beräkningarna utgick vi från Wit & Dings (2002) uppgifter eftersom de också visade på samvariationen mellan CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>-reduktioner.

---

<sup>11</sup> Elasticiteten 0,8%, d.v.s. om priset på resor ökar med 1% minskar efterfrågan på resor med 0,8% är baserad på Cane (2006). Värdet skiljer sig inte mycket från genomsnittet man får i SIKA (2006) om man adderar privat och tjänsteresor.



I Figur 4-1 nedan visar schematiskt hur pris, åtgärdskostnader och utsläpp hänger samman.



Figur 4-1 Illustration av scenarierna 1 och 2 och relaterade skatter och åtgärdskostnader (ÅK). Notera att siffrorna i diagrammen gäller för fallet då både inrikes och utrikestrafiken är inkluderade.

Att införa ett styrmedel leder ofta till att effekterna fördelas mellan olika grupper i samhället som företagare, staten och konsumenter. Tabell 4-1 visar effekterna av att införa en CO<sub>2</sub> skatt eller utsläppshandel (slutet system, auktionering) för att uppnå de givna utsläppsmålen för inrikesflyget fördelat på olika aktörer i samhället.

Tabell 4-1 Kostnader och intäkter för styrmedel på koldioxidutsläpp i flygsektorn (endast inrikestrafik omfattas).

	Pris [SEK/ton CO <sub>2</sub> ]	Skatteintäkt/år [kSEK]	Åtgärdskostnad/år [kSEK]	Ökad kostnad per resa [SEK]
Utsläppsmål 1	0	0	0	0
Utsläppsmål 2	725	390 000	35000	90

Från Tabell 4-1 kan man utläsa att en skatt eller ett utsläppspris på 725 SEK (som svarar mot uppfyllandet av utsläppsmål 2) resulterar i skatteintäkter om 390 MSEK, åtgärdskostnader om 35 MSEK samt att kostnaden per resa ökar med 90SEK. Ökningen i priset på resor grundas på antagandet att endast skattebördan/kostnaden för utsläppsrätterna förs över på priset. Prisökningen för flygbiljetter utgör ca 3-4% av det totala priset för resan. En sådan ökning av priset på flygresor leder till en minskning av inrikes resor med knappt 3%.

Antagandet att endast skattekostnader förs över till flygresenärerna kan anses vara mycket begränsande, eftersom i många fall alla kostnader förs över till konsumenterna. Därför kan både skattekostnader och åtgärdskostnader som styrmedel resulterar i belasta flygpriset på sikt. Tabell 4-2 visar utfallet. Detta medför att för emissionsscenario 2, som innebar en högre skattenivå och som redan utan att inkludera överföringen av åtgärdskostnaderna på biljettpriset kunde förväntas medföra en minskning i resandet med flyg, skulle kunna innebära en större minskning i efterfrågan på flygresor.

Tabell 4-2: Resekostnader inrikesresor

	Skatt & åtgärd [MSEK]	Ökad kostnad per resa [SEK]
Scenario 2	425	95

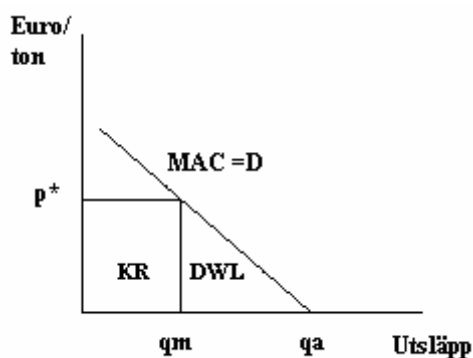
Tabell 4-3 nedan visar utfallet om man har ett system som omfattar både inrikes och utrikestrafiken i Sverige. I detta fall antar vi att antalet utrikesresor per år är 16 miljoner och att genomsnittspriset för utrikesresor är 5000 SEK tur och retur (dubbelt så mycket som för inrikes). Man ser att om också utrikesflyget kan inkluderas i ett utsläppshandels- eller skattesystem, medför det att betydligt större reduktioner behöver genomföras än om vi bara tar hänsyn till inrikesflyget. Prognosen för utrikestrafiken är till skillnad från inrikestrafiken att en stor ökning i trafik och utsläpp kommer att ske. Skattenivån blir högre och påverkan på biljettpriset ökar. Prisökningarna utgör för det lägre utsläppsmålet (no 1) 5,6% av kostnaden för en inrikesresa respektive 2,8% av priset på en utrikesresa. För emissionsscenario 2 utgör prisökningen 8,4% för en inrikesresa respektive 4,2% av en utrikesresa. Om dessa prisökningar på t.ex. inrikesresor leder till att människor väljer att resa på annat sätt, t.ex. med bil är det inte säkert att man åstadkommer en nettoutsläppsminskning. Studier av Agbaba m. fl. (2006) visar att bilen är det främsta alternativet till flyget. Enligt studien väljer resenärerna följande alternativ till flyget: Bil 77%, Buss 13%, Tåg 8% och Båt 2%. Väljer man dock andra alternativ än bil, t.ex. tåg kommer utsläppen att minska.

Tabell 4-3 Kostnader och intäkter för styrmedel på koldioxidutsläpp i flygsektorn i det fall då både utrikes & inrikestrafik omfattas.

	Pris [SEK/ton CO <sub>2</sub> ]	Skatteintäkt/år [MSEK]	Åtgärdskostnad/år [MSEK]	Ökad kostnad per resa [SEK]
Utsläppsmål 1	1250	2510	450	120
Utsläppsmål 2	2300	3700	1750	180

#### 4.1.2 Skatter eller fri tilldelning av utsläppsrätter

I EU:s nuvarande system för handel med utsläppsrätter, EU ETS, delas den största delen (minst 95% i första perioden, 2007-2005 och minst 90% i andra perioden 2008-2012) av utsläppsrätterna ut gratis. Resultatet av detta alternativ skiljer sig från det alternativ då utsläppsrätterna auktioneras. Figur 4-2 illustrerar utfallet.



Figur 4-2 Principskiss och förklaring av knapphetsränta (KR) som är resultatet av knapphet på utsläppsrätter samt deadweight loss (DWL) som är ett mått på ineffektiviteten i systemet.

Skillnaden mot alternativet med att auktionera utsläppsrätterna blir:

"Scarcity rent" eller knapphetsräntan som är resultatet av att utsläpp kontrolleras genom att vara belagda med krav på utsläppsrätter. Om tillgången på utsläppsrätter är knapp leder detta till att utsläppen begränsas. Bristen eller knappheten på utsläppsrätter resulterar i en betalningsvilja för

utsläppsrätter, d.v.s. priset. Den som blir tilldelad utsläppsrätterna erhåller en ny tillgång motsvarande priset på utsläppsrätterna multiplicerat med antalet tilldelade utsläppsrätter. I fallet med skatter eller auktionering går knapphetsrönten ("scarcity rent") istället till statskassan eller den som auktionerar ut utsläppsrätterna. Deadweight loss är ett mått på ineffektiviteten i systemet.<sup>12</sup>

## 4.2 Styrmedel för kväveoxidutsläpp

Beräkningar och analys i denna studie görs utifrån två olika scenarier med tänkta (fiktiva) mål för flygets emissioner av NO<sub>x</sub>. Beräkningar och analys genomförs också genom att studera olika fall för avgiftsnivån.

De emissionsmål för NO<sub>x</sub> som är uppsatta i denna studie är:

1. att frysa flygets utsläpp på dagens (2005 års) nivå till år 2010
2. att minska flygets utsläpp från dagens (2005 års) nivå med 20% till år 2020;

För beräkningarna och analysen har också ett antal antaganden gjorts, nämligen att:

- antalet inrikes resor är 4,5 miljoner och antalet utrikes resor är 16 miljoner (tur och retur) (baserat på SIKA 2006)
- att priset per tur och retur resa är 2 500 SEK för inrikes resor och 5 000 SEK för utrikes resor.
- Kostnader för skatter och/eller utsläppsrätter överförs till resenärerna
- Efterfrågepriselasticiteten på flygresor är 0.8%

För att skatta nivån på NO<sub>x</sub>-avgiften för de två scenarierna har beräkningar baserade på Wit & Dings (2002), Tabell 2-12, genomförts. Då dessa beräkningar görs baserat på att endast inrikes-trafiken ingår i målet blir resultatet en NO<sub>x</sub>-avgift på 10 SEK för utsläppsmål 2 och 0 SEK för utsläppsmål 1. Bakom dessa nivåer på NO<sub>x</sub>-avgiften ligger också antagande om samvariation mellan CO<sub>2</sub>-reduktioner och NO<sub>x</sub>-reduktioner och således ett pris på CO<sub>2</sub>. För det mindre strikta utsläppsmålet, för NO<sub>x</sub> (frysta emissioner), antar vi att vi har det lägre priset på CO<sub>2</sub> (0 SEK, vilket svarar mot mindre strikta målet på CO<sub>2</sub>-utsläpp). För det striktare målet, no 2 för NO<sub>x</sub>, antar vi även det striktare målet för CO<sub>2</sub> och således det högre priset (skattenivån) för CO<sub>2</sub>. Notera att även för NO<sub>x</sub>-emissioner från inrikesflyget är prognosen att utsläppen minskar jämfört med dagens nivå. Detta gör att ingen NO<sub>x</sub>-avgift behövs för att klara utsläppsmål 1.

Tabell 4-4 Kostnader och intäkter för NO<sub>x</sub>-avgift (inrikes)

	Avgift [SEK/kg NO <sub>x</sub> ]	Skatteintäkt/år [MSEK]	Åtgärdskostnad/år [MSEK]	Ökad kostnad per resa [SEK]
Utsläppsmål 1	0	0	0	0
Utsläppsmål 2	10	4,7	2,90	0,1

Om enbart NO<sub>x</sub>-avgiften förs över till flygresenärerna leder detta till en marginell ökning av biljettpriserna. Som i fallet med CO<sub>2</sub>-skatten kan det antas att både avgifter och åtgärdskostnader förs

<sup>12</sup> I ekonomiska termer definieras deadweight loss, också kallad "excess burden", som den förlust i ekonomisk effektivitet som kan åstadkommas när en jämvikt för varor och tjänster inte är Pareto optimal. Ett exempel på deadweight loss är att betala ett överpris för en vara. Deadweight loss utgör då skillnaden mellan överpriset och varans faktiska värde.

över till flygresenärerna på sikt. Men eftersom dessa är mycket låga blir effekten på flygpriset marginellt.

Vi har också gjort beräkningar för nivån på NO<sub>x</sub>-avgiften i det fall då CO<sub>2</sub>-priset är det lägre, en situation som bättre speglar en verklighet då flyget är inkluderat i ett öppet handelssystem tillsammans med annan industri. Nivån på NO<sub>x</sub>-avgiften skulle då behöva vara 165 SEK/kg NO<sub>x</sub> för att kunna uppnå det striktare målet (no 2).

Precis som för CO<sub>2</sub> har vi också gjort beräkningar för om även utrikestrafikens NO<sub>x</sub>-utsläpp skulle omfattas av avgiften. Tillsammans med de givna CO<sub>2</sub> priserna medför dock detta att NO<sub>x</sub>-målen kommer att nås utan att man behöver sätta in en specifik NO<sub>x</sub>-avgift. Det enda fall som skulle kräva en NO<sub>x</sub>-avgift är fallet då man har den lägre CO<sub>2</sub> skatten trots att man har det striktare NO<sub>x</sub>-målet. Detta fall kräver en NO<sub>x</sub>-avgift på 165 SEK/kg NO<sub>x</sub>.

### 4.3 Avvägning mellan CO<sub>2</sub>-skatt/bränsleskatt, utsläppsrätter och NO<sub>x</sub>-avgift

Att jämföra eller göra en avvägning mellan CO<sub>2</sub>-skatt/bränsleskatt, utsläppsrätter och NO<sub>x</sub>-avgift kan ske på olika sätt och genom att använda olika data. Beroende både på begränsad tid och begränsad datatillgång, speciellt med avseende på utsläppshandelssystemets effekter under längre tid, har analysen i den här studien varit beroende av en hel del antaganden. De antaganden som är av störst betydelse för resultaten är antagandet om förhållandet mellan priset på utsläppen (skatten/utsläppsrätterna/avgiften) respektive utsläppsminskningarna samt priselasticiteten (för övriga antaganden se avsnitt 4.1 och 4.2). Resultaten bidrar dock till att ge en uppfattning av konsekvenserna av olika fall.

I beräkningarna genomförda i ovanstående avsnitt har vi antagit ett slutet handelssystem, detta till skillnad från det direktivförslag som ligger och där man föreslår att flyget skall ingå i det nuvarande systemet för industrin. Den senare varianten innebär att flygsektorn har möjlighet att köpa utsläppsrätter från andra sektorer och resulterar i helt andra slutsatser än från våra beräkningar. Dagens marknad för utsläppsrätter karakteriseras av låga priser på CO<sub>2</sub> och ett inkluderande av flygsektorn skulle endast mycket marginellt påverka priset på utsläppsrätter (Wit m.fl. 2005). Följden av detta blir sannolikt en mindre effekt på priset på flygresor om endast kostnaden för utsläppsrätter förs över till konsumenterna. Priset på flygresor kan visserligen bli något högre om också åtgärds-kostnaderna inkluderas i flygpriset. Även denna effekt torde dock bli liten eftersom ett lågt pris på utsläppsrätter innebär att endast små åtgärder kommer att genomföras i flygsektorn (som istället köper utsläppsrätter från andra sektorer med lägre åtgärds-kostnader). Att endast ha ett öppet system för handel med utsläppsrätter för flygets CO<sub>2</sub>-emissioner innebär således troligtvis att emissionsmålen uppsatta för flygsektorn i denna studie inte uppnås. Ett öppet handelssystem innebär istället att utsläppsminskningarna kommer att ske på ett kostnadseffektivt sätt, d.v.s. i de sektorer där kostnaderna för reduktioner är lägst.

Effekten på åtgärder för att effektivisera flyget med syfte att minska dess utsläpp är starkt beroende av priset på utsläppsrätter/skattenivån. Transportsektorn har höga åtgärds-kostnader och ett lågt pris innebär små ansträngningar för att effektivisera. En skatt som kan sättas på en hög nivå kan däremot öka ansträngningarna.

Att auktionera utsläppsrätterna utan kännedom om utseendet på MAC kurvan kan enligt Pizer m. fl. (1997) leda till högre samhällskostnader motsvarande 5 gånger jämfört med en skatt<sup>13</sup>.

Att det finns ett samband mellan minskning av CO<sub>2</sub> och minskning av NO<sub>x</sub> tyder på att styrmedel som införs för att uppnå ett mål för CO<sub>2</sub>-utsläpp i kombination med styrmedel och mål för NO<sub>x</sub>-utsläpp skulle leda till bättre utfall för måluppfyllnaden av NO<sub>x</sub>-utsläppen än dagens avgift som endast har lett till marginella minskningar.

## 4.4 Möjligheter att införa styrmedel på flygets utsläpp

Att införa en CO<sub>2</sub>-skatt på flygbränsle har historisk sätt visat sig vara svårt att genomföra. Enligt bedömning i EU-domstolen, som beskrivs i avsnitt 3.2.1, har tidigare CO<sub>2</sub> beskattning betraktats som en beskattning av bränsleförbrukning, vilket stred mot mineraloljedirektivet och därmed ogillades. Inom ICAO har man träffat en överenskommelse som säger att man inte skall införa skatter eller avgifter för växthusgasutsläpp från internationella flygningar före nästa sammankomst, som äger rum under hösten 2007. Detta förhindrar tillfälligt möjligheterna att införa CO<sub>2</sub>-beskattning på internationellt flyg. Nya möjligheter har dock öppnat sig i och med Energiskattedirektivet (EU, 2003) som ger länder möjlighet att införa beskattning av flygbränsle på inrikesflyg samt på utrikesresor till länder med vilka man har slutit bilaterala avtal.

I början av 2007 presenterade ICAO riktlinjer för avgifter relaterade till utsläpp som orsakar problem med lokal luftkvalitet (ICAO, 2007). Dessa riktlinjer ger möjlighet att lokalt (t.ex. inom Europa eller Sverige) ta ut emissionsavgifter. I ICAOs riktlinjer specificeras vilka utsläpp från flyget som avses (som anses orsaka lokala luftkvalitetsproblem) och CO<sub>2</sub> är inte ett av dessa utsläpp. Detta innebär att man inte med stöd av dessa riktlinjer kan införa en CO<sub>2</sub>-baserad avgift.

Att inkludera flyget i ett system för handel med utsläppsrätter är redan föreslaget av EU kommissionen. Detta skulle innefatta såväl svensk inrikestrafik som större delen av utrikestrafiken eftersom 90% av utrikes flygresor från Sverige går till europeiska destinationer, (SIKA, 2006). Som förslaget ser ut idag är det ett öppet system, vilket betyder att de reduktioner som faktiskt kommer att ske inom flygsektorn förmodligen blir små. Istället kommer utsläppsminskningar att ske i andra sektorer där åtgärdskostnaderna är lägre.

NO<sub>x</sub>-avgift för LTO-cykeln finns redan för samtliga avgångar från statliga flygplatser i Sverige. Utvärderingar av NO<sub>x</sub>-avgiftens effekter visar dock att den minskat utsläppen marginellt, om ens något. Effektiviteten i detta styrmedel skulle dock öka om fler flygplatser, även utanför Sverige införde liknande system. Att utöka avgiften till att också omfatta utsläppen under cruise-delen av flygningen är förmodligen inte helt enkelt endast grundat på ICAOs riktlinjer, eftersom man där tydliggör att det skall handla om utsläpp som orsakar lokala luftkvalitetsproblem och alltså endast handlar om utsläpp som sker i närheten av flygplatsen.

---

<sup>13</sup> Eftersom utsläppskvantiteterna är bestämda vid handel med utsläppsrätter leder förändringar, störningar eller chocker som påverkar marknaden för utsläppsrätter till högre prisflyktighet (prisvariation). Prisflyktigheten medför svårigheter att göra korrekta bedömningar i åtgärdsarbetet och försvårar investeringsplaner.

## 5 Diskussion

### Trade-off mellan CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>

Som framgår av Tabell 2-12 så sker det en viss minskning av NO<sub>x</sub>-emissioner även i de fall då dessa utsläpp ej belastas med någon avgift utan enbart CO<sub>2</sub>-utsläpp är avgiftsbelagda. Wit & Dings (2002) ger flera förklaringar till detta. Generellt sätt leder en minskad bränslekonsumtion till både lägre CO<sub>2</sub>- och NO<sub>x</sub>-utsläpp, dessutom medför vissa av de operationella åtgärderna för att minska CO<sub>2</sub>-utsläppen (t.ex. flygning med lägre motorbelastning på grund av introduktion av winglets eller räfflor) också till lägre NO<sub>x</sub>-utsläpp per mängd förbränt bränsle. Wit & Dings (2002) drar också slutsatsen att risken för att flygflottans motorer skall ersättas med motorer som ger låga CO<sub>2</sub>-utsläpp, men högre NO<sub>x</sub>-utsläpp är liten, speciellt i ett kortare tidsperspektiv fram till år 2010 som är det man studerat.

### Åtgärdskostnader

Resultaten i denna studie är mycket beroende av de data från Wit & Dings (2002) som har använts för att beräkna priserna på CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> som behövs för att uppnå utsläppsmålen (Tabell 2-12). Kännedom om marginalkostnadskurvan och åtgärdskostnader för olika typer av reduktionsåtgärder för både NO<sub>x</sub> och CO<sub>2</sub> inom flygsektorn saknas till stor del. Dock tyder de data vi har återfunnit i litteraturen på att det i flygsektorn liksom i de flesta andra sektorer finns åtgärder med negativa åtgärdskostnader. Detta innebär att det finns en betydande osäkerhet i vilka reduktioner ett visst pris på CO<sub>2</sub> eller NO<sub>x</sub> faktiskt skulle resultera i. Har man en mindre känslighet skulle i princip högre priser krävas innan reduktionerna åstadkoms och vice versa. Vår analys visar dock att det krävs ganska hög nivå på CO<sub>2</sub>-skatten eller NO<sub>x</sub>-avgiften innan det har någon större betydelse för biljettpriser och resande. Att åstadkomma kraftiga utsläppsreduktioner av CO<sub>2</sub> inom flygsektorn kommer dock troligtvis att påverka biljettpriserna till en betydande del och därmed också efterfrågan på flygresor. Vad flygresorna ersätts med blir då av stor betydelse för vilken den totala miljönyttan blir. Om större delen ersätts med bilresor finns risk för att miljönytta i form av minskade utsläpp av CO<sub>2</sub> (och NO<sub>x</sub>) uteblir. För att åstadkomma reduktioner krävs att man till större del ersätter flygresorna med andra trafikslag och lösningar.

### Möjlighet att introducera olika typer av styrmedel

Att införa en skatt på CO<sub>2</sub>-utsläpp från flygtrafik och hävda att man följer riktlinjerna för lokala avgifter för luftkvalitetsproblem är förmodligen inte tillämpligt. Detta eftersom CO<sub>2</sub> inte ger lokala luftkvalitetsproblem. Däremot leder bränsleförbrukningen till utsläpp av t.ex. NO<sub>x</sub>, som ju redan klassas som utsläpp med stark relation till luftkvalitetsproblem. Eftersom det finns en samvariation mellan CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>-utsläpp kan man genom att sätta NO<sub>x</sub>-avgiften tillräckligt högt också minska utsläppen av CO<sub>2</sub>. Visserligen får man inte samma styrande effekt som om man har en ren CO<sub>2</sub>-skatt eller avgift, men vissa reduktioner skulle förmodligen åstadkommas. Möjligheten införa en skatt på CO<sub>2</sub> begränsas för internationella flygningar åtminstone fram till i höst av överenskommelsen inom ICAO om att vänta med att införa avgifter på växthusgaser till efter nästa sammankomst. Däremot finns det i enlighet med Energiskattedirektivet (EU, 2003) möjligheter att införa skatter på inrikes flyg samt för internationell trafik mellan länder som slutit bilaterala överenskommelser. Ett land kan inte generellt välja att beskatta flygbränsle för internationell flygtrafik, eftersom det strider mot Chicagokonventionen från 1944.

## För- och nackdelar med olika typer av styrmedel

Både en CO<sub>2</sub>-skatt för flyget eller att ansluta det till handeln med utsläppsrätter skulle styra flygbolagen att investera i nya bränslesnålare flygplan med lägre utsläpp. Genom handeln har flygbolagen möjlighet att välja det mest kostnadseffektiva av att investera i nya flygplan, vidta andra utsläppsreducerande åtgärder eller köpa utsläppsrätter. Ett gemensamt utsläppstak garanterar en given begränsning av de totala utsläppen. Utsläppshandeln innebär också att man följer principen att förorenaren ska betala (PPP) och att åtgärder för att begränsa utsläppen sker där de kostar minst att genomföra. Också en skatt följer PPP och i teorin kommer de företag som har åtgärdskostnader som är lägre än skattenivån att inför dessa. Nackdelar med skatten är svårigheten att sätta nivån så att man når ett visst emissionsmål. Fördelen med ett utsläppshandelssystem framför en skatt är att man inte behöver känna MAC-kurvan för att veta utfallet på reduktionerna, eftersom dessa bestäms utifrån antalet utfärdade utsläppsrätter. För att uppnå ett visst reduktionsmål inom flygsektorn skulle det dock varit bättre att ha ett slutet handelssystem än att ha ett öppet så som föreslås av kommissionen. Vid ett öppet handelssystem kommer visserligen lika stora reduktioner som i ett slutet system att åstadkommas, men de kommer att ske i de sektorer där de är billigast. En viktig skillnad mellan ett handelssystem med fri tilldelning jämfört med ett handelssystem där utsläppsrätterna auktioneras eller en skatt är att intäkterna i de senare fallen går till staten (förutsatt att det är staten som auktionerar ut utsläppsrätterna). Vid fri tilldelning sker istället en värdeöverföring till den inkluderade industrin.

## 6 Slutsatser

Att införa en CO<sub>2</sub> skatt då man känner åtgärdskostnadskurvan eller att inkludera flyget i ett slutet system för handel med utsläppsrätter (utan möjlighet till köp av utsläppsrätter från andra sektorer) där auktionering tillämpas resulterar i samma utfall, d.v.s. samma fördelning av kostnader mellan staten, samhället och resenärerna. Med andra ord är det rent teoretiskt inte så stor skillnad mellan en CO<sub>2</sub> skatt och ett handelssystem. I praktiken är det dock lättare att med ett handelssystem vara säker på att nå uppsatta emissionsmål jämfört med en skatt. En skatt medför dock att man vet kostnaden för att släppa ut, något som bestäms av marknaden i ett handelssystem. I skattefallet kan man behöva justera skattenivån vid flertalet tillfällen för att uppnå målen.

Om både skatt och åtgärdskostnader förs över på biljettpriserna, visar vår analys att i det fall då endast inrikesflyget är inkluderat resulterar endast det striktare CO<sub>2</sub>- målet uppsatt i denna studie (-20% till 2020) till en något minskad efterfrågan på flygresor. I fallet då hela flygtrafiken inkluderas leder bägge utsläppsmålen uppsatta i denna studie till en viss påverkan på biljettpriset. Vad flygresorna ersätts med blir då av stor betydelse för vilken den totala miljönyttan blir. Om resenärerna i dessa fall går över till att resa med bil finns det dock stor risk att nettominskningen av CO<sub>2</sub>-utsläpp uteblir. Istället krävs att man väljer andra trafikslag eller lösningar.

Om utsläppsrätterna istället delas ut gratis blir det en skillnad i kostnadsfördelningen; staten får inga intäkter från skatten/auktioneringen och operatörerna får lägre kostnader. Dock förändras inte operatörernas marginalkostnader vilket gör att det inte är säkert att prispåverkan på resenärerna blir annorlunda jämfört med fallet då man auktionerar. Förenklat kan man säga att prispåverkan på resenärerna inte nämnvärt påverkas av valet av styrmedel (skatt, handelssystem med auktionering eller fri tilldelning).

Om handelssystemet däremot inte är slutet blir priset på utsläppsrätterna betydligt lägre, dels eftersom åtgärdskostnaderna i t.ex. den industri som idag ingår i EU ETS är betydligt lägre än i flyg-

sektorn och eftersom inkludandet av flyget inte kommer att ha annat än marginell påverkan på priset på utsläppsrätterna. Detta medför att emissionsreduktioner som genomförs i flygsektorn blir små och likaså blir påverkan på operatörer och resenärer liten. Emissionsreduktionerna kommer istället att äga rum i de sektorer som ingår i handelssystemet som har de lägsta åtgärdskostnaderna. För att uppnå ett visst reduktionsmål inom flygsektorn skulle det således varit bättre att ha ett slutet handelssystem än att ha ett öppet så som föreslås av kommissionen. Vid ett öppet handelssystem kommer visserligen lika stora reduktioner som i ett slutet system att åstadkommas, men de kommer att ske i de sektorer där de är billigast. En viktig skillnad mellan ett handelssystem med fri tilldelning jämfört med ett handelssystem där utsläppsrätterna auktioneras eller en skatt är att intäkterna i de senare fallen går till staten (förutsatt att det är staten som auktionerar ut utsläppsrätterna). Vid fri tilldelning sker istället en värdeöverföring till den inkluderade industrin.

Skillnaden mellan att införa ett handelssystem på nationell nivå jämfört med en skatt är liten, däremot är det på EU-nivå lättare att införa ett handelssystem än att införa en skatt, eftersom införandet av en skatt kräver att samtliga länder godkänner införandet.

För att åstadkomma reduktioner av NO<sub>x</sub> underlättar ett införande av en kostnad för utsläpp av CO<sub>2</sub>, eftersom minskad bränsleförbrukning ofta leder till minskade NO<sub>x</sub>-utsläpp. Är kostnaden för CO<sub>2</sub> låg behövs en högre nivå på NO<sub>x</sub>-avgiften än idag om man vill nå det striktare av de uppsatta emissionsmålen i denna studie. För att få en bättre styrande effekt av NO<sub>x</sub>-avgiften är en utökning av systemet (fler länder som tillämpar reglerna) viktig.

Den kunskap och de mått man idag har för att jämföra klimatpåverkan från utsläpp av CO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub> från flyget pekar på att påverkan från CO<sub>2</sub> är betydligt större. Åtgärder bör därför riktas mot att minska bränsleförbrukningen. Att införa åtgärder som ökar bränsleförbrukningen men minskar klimatpåverkan från NO<sub>x</sub>-utsläppen kan resultera i större nettopåverkan på klimatet än situationen idag.



## 7 Referenser

- Agbaba, S., Persson, A-S., Yazici, S. (2006): Flygskatt – ett lämpligt styrmedel? Lunds Universitet Institutionen för Service Management
- Cames, M. & Deuber, O., 2004. Emissions trading in international civil aviation. Öko-Institute for Applied Ecology. Berlin, 2004.
- Daggett, D. L. 2004. Water Mist and Injection of Commercial Aircraft Engines to Reduce Airport NO<sub>x</sub>. NASA/CR – 2004- 212957.
- EEA, 2006. Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2004 and inventory report 2006 – Submission to the UNFCCC Secretariat, EEA Technical Report No 6/2006.
- Energimyndigheten 2007. Långsiktsprognos 2006 – enligt det nationella systemet för klimatrapportering. ER 2007:02.
- Energimyndigheten 2006. Uppdatering av 2004-års prognos för utsläpp av växthusgaser 2010. Underlag inför Sveriges andra fördelningsplan för utsläppsrätter, perioden 2008-2012.
- EU COM 2006, 1685. Commission Staff working document, accompanying document for the proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC so as to include aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community. Impact assessment of the inclusion of aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community. Brussels 2006-12-20.
- EU 2003. Council Directive 2003/96/EC of October 27 2003 restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity.
- Forster, P. M. F., Shine, K. P., Stuber, N., 2005, It is premature to include non-CO<sub>2</sub> effects of aviation in emission trading schemes, Atmos. Env., 40, 1117–1121.
- Grewe, V. m. fl., 2007, Climate impact of supersonic air traffic: an approach to optimize a potential future supersonic fleet – results from the EU-project SCENIC. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 7, 6143–6187.
- ICAO, 2007. Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP), Seventh Meeting, Montreal 5-16 February 2007. Agenda Item 2. CAEP/7-WP/68-2.
- ICAO, 1944.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the IPCC. ISBN 978 0521 88009-1.
- Johansson, B. 2002. Flyget, energianvändning och miljömålen – En förstudie. Lunds tekniska högskola.
- Keller, M., Mauch, S., Iten, R., Gehrig, S., Lambrecht, U., Helms, H., Fehrenbach, H., Gode, J., Särholm, E., Smokers, R. & Hausberger, S. (in preparation). *Cost-Effectiveness of Greenhouse Gases Emission Reductions in Various Sectors*, Final Draft Report. Framework Service Contract No Entr/05/18.

- Luftfartsstyrelsens miljömålsrapport 2007. Ryman, J. & Lundman T. Luftfartsstyrelsens Miljömålsarbete – Underlag till den fördjupade utvärderingen av miljömålsarbetet 2008 i enlighet med Miljömålsrådets riktlinjer . Redovisning av uppdrag i 2006 och 2007 års regleringsbrev. April 2007
- Krüger Nielsen, S. 2003. Greenhouse gas emissions from international aviation and allocation options. Danish Environmental Protection Agency. Environmental Project No. 769 2003.
- Nerhagen, L., Johansson, H. & Andelius, C. 2003. Marginalkostnadsberäkning av luftburna föroreningar från fordon – problem med differentiering, interpendens och variabilitet. VTI Notat 35-2003.
- NIR, 2007. Sweden's National Inventory Report 2007. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- NV, 2000. Metod för samhällsekonomisk analys av miljöåtgärder. Naturvårdsverket rapport 2000:7, Örebro, Sverige.
- Pizer, W. (1997): Prices vs. Quantities Revisited: The Case of Climate Change, Resources for the future, Discussion Paper 98-02
- Ponater, M., Marquart, S., Sausen, R., and Schumann, U., 2005. On contrail climate sensitivity, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L10706, doi:10.1029/2005GL022580, 2005.
- Ponater, M., Pechtl, S., Sausen, R., Schumann, U., and Hüttig, G., 2006. Potential of the cryoplane technology to reduce aircraft climate impact: A state-of-the-art assessment, *Atmos. Environm.*, 40, 6928–6944.
- Sausen, R., Isaksen, I., Grewe, V., Hauglustaine, D., Lee, D. S., Myhre, G., Köhler, M. O., Pitari, G., Schumann, U., Stordal, F., and Zerefos, C. , 2005. Aviation Radiative Forcing in 2000: An Update on IPCC (1999), *Meteorol. Z.*, 14, 555–561.
- Shine, K. P., Berntsen, T. K., Fuglestvedt, J. S. & Sausen, R, 2005, Scientific issues in the design of metrics for inclusion of oxides of nitrogen in global climate agreements, *PNAS* 102, 15768–15773.
- Stratus Consulting, 2002. Controlling Carbon Dioxide Emissions from the Aviation Sector. Prepared for the Federal Environmental Agency (UBA) of Germany. Prepared by Henderson, J./ Ries, H., Boulder.
- Särnholm, E. & Gode, J. 2007. Abatement costs for carbon dioxide reductions in the transport sector. IVL B1760.
- SIKA 2002. Koldioxidutsläpp. Delrapport, ASEK. SIKA rapport 2002:13.
- SIKA PM 2004:4. Internaliseringsgrader för att belysa konkurrensneutralitet mellan transportslagen. Underlag till Godstransportdelegationen.
- SIKA 2006. Flygskattens effekter. SIKA PM.
- Wit, R.C.N. & Dings, J.M.W. 2002. Economic Incentives to mitigate greenhouse gas emissions from air transport in Europe. CE Delft, June 2002. The Netherlands.
- Wit, R.C.N., Boon, B.H., van Velzen, A., Cames, M., Deuber, O. & Lee, D.S. 2005. Giving wings to emissions trading – Inclusion of aviation under the European emissions trading system (ETS) design and impacts. Report for the European Commission DG Environment NO ENV.C.2/ETU/204/0074r, July 2005.