

**SLUTREDOVISNING AV 2002 ÅRS REGERINGSUPPDRAG
AVSEENDE LUFTFARTENS
SAMHÄLLSEKONOMISKA MARGINALKOSTNADER**

<u>1</u>	<u>SAMMANFATTNING AV BERÄKNINGSLÄGET FÖR LUFTFARTENS AVGIFTSRELEVANTA MARGINALKOSTNADER</u>	4
<u>2</u>	<u>INLEDNING</u>	6
2.1	<u>Uppdraget</u>	6
2.2	<u>Genomförandet</u>	6
<u>3</u>	<u>MILJÖ</u>	7
3.1	<u>Avgasutsläpp</u>	7
3.1.1	<u>Utsläpp i samband med start och landning (LTO-utsläpp)</u>	7
3.1.2	<u>Övriga utsläpp under färd</u>	7
3.2	<u>Buller</u>	10
<u>4</u>	<u>INFRASTRUKTUR</u>	10
4.1	<u>Definition och avgränsning av luftfartens infrastruktur</u>	10
4.2	<u>Infrastruktur förutom flygtrafiktjänst</u>	11
4.2.1	<u>Teoretisk beskrivning av marginalkostnader i terminaler</u>	11
4.2.2	<u>Kommentarer till beräkningar av marginalkostnader för Helsingfors-Vantaa flygplats</u>	12
4.2.3	<u>Fallstudie för markinfrastrukturkostnader på sträckan Stockholm-Göteborg</u>	12
4.2.4	<u>Beräkning av flygplansrelaterade slitagekostnader</u>	13
4.3	<u>Flygtrafiktjänstens infrastruktur</u>	13
<u>5</u>	<u>TRÄNGSEL</u>	14
<u>6</u>	<u>OLYCKOR/SÄKERHET</u>	14
<u>7</u>	<u>DET INTERNATIONELLA ARBETET OM EKONOMISK MILJÖSTYRNING</u>	14
7.1	<u>Vidareutveckling och internationell harmonisering av miljödifferenterad landningsavgift</u>	14
7.2	<u>Flygets klimatpåverkan och ekonomiska styrmedel</u>	15
7.2.1	<u>Frivilliga överenskommelser</u>	15
7.2.2	<u>Avgasrelaterade pålagor</u>	16
7.2.3	<u>Handel med utsläppsrätter</u>	16
<u>8</u>	<u>APPENDIX 1: REVIDERAD BEDÖMNING AV KONDENSSTRIMMORS KLIMATPÅVERKAN</u>	17
8.1	<u>Motiv för reviderad bedömning av kondensstrimmors klimatpåverkan</u>	17
8.2	<u>Referenser</u>	18
<u>9</u>	<u>APPENDIX 2: THE IMPACT OF AVIATION ON THE GLOBAL CLIMATE</u>	20
9.1	<u>Derivation of Climate Valuations</u>	20
9.2	<u>Case Study: Climatic Impact from a Flight between Stockholm-Arlanda and Gothenburg</u>	22
9.3	<u>Validity of the results</u>	23
9.4	<u>References</u>	23
<u>10</u>	<u>APPENDIX 3: A DEFINITION OF AVIATION INFRASTRUCTURE</u>	25

10.1	Theoretical Discussion	25
10.2	Exemplifications of the Infrastructure of Aviation	27
10.2.1	Structures Belonging to the Aviation Infrastructure	27
10.2.2	Structures not Belonging to the Aviation Infrastructure	29
10.3	References	30
11	APPENDIX 4: MARGINAL COSTS FOR THE USE OF THE AVIATION INFRASTRUCTURE	31
11.1	A Derivation of Marginal Costs for Check-in Facilities	31
11.2	The Long-run Problem	32
11.3	The Short-run Problem	33
11.4	Dynamic Aspects	34
11.5	Uncertainty and Cost Penalty for Passengers Missing a Flight	35
11.5.1	Modelling Demand	36
11.5.2	Modelling Costs	36
11.5.3	Minimisation of Costs	37
11.5.4	Conclusions	38
12	APPENDIX 5: KOMMENTARER TILL UNITE-STUDIEN OM MARGINALKOSTNADER VID HELSINGFORS-VANTAA FLYGPLATS	39
12.2	Kommentarer till Vantaa-rapporten	41
12.2.1	Sambanden mellan arbetstimmar och trafikvolym	41
12.2.2	Beräkning av kostnaden per arbetstimme	41
12.3	Möjligheten att föra över resultaten till svenska flygplatser	42
12.4	Behov av ytterligare studier	43
12.5	Referenser	43
13	APPENDIX 6: BORTTAGNING AV GUMMIBELÄGGNING PÅ BANOR OCH RAMPER	44
13.1	Referenser	46

1

SAMMANFATTNING AV BERÄKNINGSLÄGET FÖR LUFTFARTENS AVGIFTSRELEVANTA MARGINALKOSTNADER

Tabell 1.1 visar översiktligt de marginalkostnader där estimat föreligger. I många fall är estimaten osäkra och de skall därför endast ses som indikativa värden. En rad kostnader har inte kunnat estimeras ännu. För fyra kostnadskomponenter anges när de första preliminära skattningarna beräknas vara färdiga.

Tabell 1.1: Översikt över beräkningsläget

Extern effekt	Marginalkostnad		Kommande estimat
	Existerande estimat	punkt-skattning	
	låg	hög	enhet
Avgasutsläpp			
<i>LTO-utsläpp (lokala och regionala effekter)</i> [Studie påbörjad under hösten 2002]	-		våren 2003
<i>Övriga utsläpp (klimat effekter)</i> [Beräkningarna bygger på IPCC (1999), men har uppdaterats för k-strimmar]			
CO ₂	0,022	-	0,55 kr/kg utsläpp
H ₂ O	0,01	-	0,15 kr/kg utsläpp
NO _x	2,9	-	72 kr/kg utsläpp
Kondensstrimmar	0,068	-	1,7 kr per flygplan km
Buller [Planer finns på förberedande studier]	-		?
Infrastruktur			
<i>Flygplatstjänster</i> [Metoden överskattar ev. kostnaden. Bygger ej på svenska förhållanden (HEL-Vantaa)]			
flygplanstjänster	280		kr per landning
passagerartjänster	6		kr per passagerare
<i>Flygtrafikfjänt en route</i> [Helsingforsstudien metodik skall tillämpas för svensk flygtrafikfjänt]	-		våren 2003
<i>Slitage</i> [Beläggningsslitage omfattar svenska flygplatser förutom Arlanda] [Kostnad för gummiborttagning beror bl.a. på flygplatsens storlek och rengöringsmetod]			
beläggningsslitage	0		
gummiavsättningar	0	-	24,20 kr per landning
Trängsel [Kommer delvis att ingå i studien av flygtrafikfjänten]	-		våren 2003
Olyckor/säkerhet [Kommer delvis att ingå i studien av flygtrafikfjänten]	-		våren 2003

Ett mer konkret sätt att uttrycka klimatkostnaderna är att, med utgångspunkt från värderingarna i *tabell 1.1*, beräkna klimatkostnaderna för enkelsträckan Arlanda-Göteborg, om denna flygs med en Boeing 737-600. Resultatet av en dylik beräkning framgår av *tabell 1.2*. Det mest slående är den stora skillnaden mellan det låga och det höga värdet. Skillnaden illustrerar den stora osäkerhet som finns i dag kring värdering av flygets klimatpåverkan.

**Tabell 1.2: Klimatkostnad för exempelsträckan
Arlanda-Göteborg**

Klimatpåverkande faktor	Miljökostnad per flygning (kr)	
	<i>låg</i>	<i>hög</i>
CO ₂ -värdering (kr per kg)	0,022	0,550
CO ₂	101	2 524
NO _x	39	973
H ₂ O	11	281
Kondensstrimmor	31	776
Total klimatkostnad	182	4 555

2 INLEDNING

2.1 Uppdraget

Luftfartsverket har i regleringsbrevet för 2002 bl.a. fått i uppdrag att, i samarbete med Statens institut för kommunikationsanalys (SIKA), fortsätta arbetet att öka kunskapen kring trafikens externa effekter. Uppdraget lyder:

Luftfartsverket skall i samarbete med Statens institut för kommunikationsanalys (SIKA) beräkna de avgiftsrelevanta, marginella kostnader som trafiken ger upphov till. En del i arbetet är att kartlägga databehov och utveckla effektiva metoder för datainsamling. En delredovisning, med inriktning på metod och datafrågor, skall ges senast den 10 juni 2002. En slutredovisning skall ske senast den 31 december 2002.

Uppdraget i regleringsbrevet skall inte ses isolerat, utan som en del av ett långsiktigt transportpolitiskt arbete. EU-kommissionens vitbok *Rättvisa trafikavgifter: En modell för ett stegvist införande av gemensamma avgiftsprinciper för transportinfrastruktur i EU* har ett flerårigt framåtblickande perspektiv med syfte att se över och vid behov reformera trafikavgifterna. Av bl.a. detta skäl finns det anledning att förmoda att arbetet med de frågeställningar som finns i uppdraget kommer att fortsätta under flera år framöver.

2.2 Genomförandet

Årets slutrapport bygger vidare på tre tidigare rapporter från Luftfartsverket:

Översyn av förutsättningarna för marginalkostnadprissättning inom Luftfartssektorn (LFV 2000-5235-053) och

Underlag för fortsatt utveckling av transportpolitikens kostnadsansvar (LFV 2000-5748-051).

Delredovisning av regeringsuppdrag avseende luftfartens avgiftsrelevanta marginella kostnader (LFV 2002-0089-051)

Materialet från delredovisningen är i omarbetat skick inkluderat i denna rapport. Arbetet har samordnats genom en referensgrupp med representanter från samtliga trafikverk, SIKA och Näringsdepartementet. Lennart Bergbom har varit Luftfartsverkets representant i referensgruppen och skrivit denna rapport med bistånd av Kalle Keldusild och Reidar Grundström.

3 MILJÖ

I miljöavsnittet beskrivs pågående insatser vad gäller utsläpp i samband med start och landning (LTO-utsläpp), grova beräkningar av marginalkostnaderna för klimatpåverkan och planerade insatser avseende buller.

3.1 Avgasutsläpp

3.1.1 Utsläpp i samband med start och landning (LTO-utsläpp)

Luftfartsverket har tillsammans med SIKa under året upphandlat en konsultinsats för att studera de lokala och regionala miljöeffekterna av avgasutsläpp från flygtrafik i samband med start och landning. Denna studie har inletts under hösten och resultaten kommer att redovisas under våren 2003. Vid utgången av 2002 har utsläppssimuleringar och spridningsberäkningar genomförts. Som studieobjekt har Stockholm-Västerås flygplats valts, för vilken miljökostnadsberäkningar görs med den s.k. ExternE-metoden¹ (effektkedjemetoden). I studien ingår en simulerad flygning med den flygplanstyp som Ryanair använder (Boeing 737-800) vid Västerås flygplats.

3.1.2 Övriga utsläpp under färd

Under denna rubrik visas först hur luftfartens klimateffekter värderats. Därefter används dessa värderingar för att beräkna klimatkostnaden för en exempelflygning mellan Arlanda och Göteborg.

3.1.2.1 Värdering av utsläppen

I detta avsnitt värderas klimateffekterna av flygtrafikens utsläpp. Utgångspunkten är den ofta citerade studien som publicerades av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1999. I den studien redovisas klimatpåverkan genom åtta mekanismer uttryckt som strålningsintensiteten orsakad av luftfart 1992. I studien redovisas både punkttestimat och osäkerhetsintervall. I *tabell 3.1* redovisas endast punkttestimaten. Jämfört med Luftfartsverkets delredovisning i juni 2002 har uppskattningen av kondensstrimmors klimatpåverkan sänkts från 20 mW/m² till 2,3 mW/m². En motivering till detta framgår av *Appendix 1*.

¹ Se Bickel, P. & Friedrich, R. (2001), *Environmental External Costs of Transport*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Tabell 3.1: Luftfartens påverkan på strålningsintensiteten

Orsak till klimatpåverkan	Punkttestimat 1992 (W/m ²)	Osäkerhet ¹
CO ₂	+0,018	+
O ₃ (från NO _x)	+0,023	++
CH ₄ (från NO _x)	-0,014	+++
H ₂ O	+0,002	+++
Kondensstrimmor	+0,02	++
Cirrusmoln	(0-0,04)	++++
Sulfat	-0,003	++
Sot	+0,003	++

¹ Fler + betyder större osäkerhet. Osäkerheten är dock betydande även för koldioxid.

Källa: IPCC (1999)

Beräkningarna görs på i stort sett samma sätt som i CE Delft (2001) och resultaten redovisas i *tabell 3.2* nedan. Koldioxidvärderingen bygger i de två fallen på Bickel et al. (2001) respektive resonemanget i SIKA rapport 2002:4 angående Sveriges åtaganden enligt Kyoto-protokollet. För en mer noggrann genomgång av beräkningarna hänvisas till *Appendix 1* och *2*.

Tabell 3.2: Värdering av klimatpåverkan från luftfarten

Beräkningar baserade på utsläpp under 1992	Miljökostnad	
	<i>låg</i>	<i>hög</i>
Värdering ¹ av CO ₂ -utsläpp (kr per kg)	0,022	0,55
Värdering av klimateffekter (kr per kg)		
CO ₂	0,022	0,55
H ₂ O	0,0061	0,15
No _x	2,9	72
Kondensstrimmor ² (kr per km)	0,068	1,7

Som synes är variationen stor, men det är lättare att få en intuitiv bild av vad denna variation innebär, om man beräknar miljökostnaderna för en exempelflygning.

3.1.2.2 Fallstudie för miljökostnader på sträckan Stockholm-Göteborg

Med utgångspunkt från värderingarna i *tabell 3.2* ovan beräknas i detta avsnitt klimatkostnaderna för en exempelflygning mellan Arlanda och Göteborg. Beräkningsförutsättningarna är att flygningen sker med Boeing 737-600, som är ett modernt och i svensk inrikestrafik vanligt jetflygplan med goda miljöegenskaper.

Bortsett från LTO-utsläppen ger exempelflygningen mellan Arlanda och Göteborg upphov till utsläpp av 4 590 kg koldioxid, 13,43 kg kväveoxider och 1 836 kg

vattenånga. Sträckan räknas som 393 kilometer plus ett generellt påslag på 15 procent för att ta hänsyn till att flygvägarna är längre än storcirkelavståndet. De beräknade klimatkostnaderna framgår av *tabell 3.3*.

Tabell 3.3: Klimatkostnader för exempelsträckan Arlanda-Göteborg

Klimatpåverkande faktor	Kvantitet	Miljökostnad per flygning (kr)	
		<i>låg</i>	<i>hög</i>
CO ₂ -värdering (kr per kg)		0,022	0,55
CO ₂	4 590 kg	101	2 524
NO _x	13,43 kg	39	973
H ₂ O	1 836 kg	11	281
Kondensstrimmor	452 km	31	776
Total klimatkostnad		182	4 555

Med ovan använda sätt att beräkna climateffekterna visar det sig att kostnadsvariationen är mycket stor. Pågående och kommande forskningsinsatser kommer säkerligen att bidra till en minskning av intervallets storlek, men bedömningen är att det ändå återstår många år, innan osäkerheten minskat betydligt. Intervallet ovan är enbart baserat på variationen i koldioxidvärdering och tar inte hänsyn till den betydande osäkerhet som finns rörande de olika faktorernas klimatpåverkan.

Som en jämförelse kan nämnas att den nuvarande undervägsavgiften för flygningen ovan uppgår till ca 2115 kr, vilket betyder att det kan finnas tillräckligt utrymme inom undervägsavgiften för en fullständig internalisering av klimatkostnaden, men detta kan inte garanteras, eftersom den högre kostnadsskattningen är mer än dubbelt så hög som den nuvarande avgiften. Notera att den nuvarande undervägsavgiften inte har någon miljökomponent, utan enbart skall ge full kostnadstäckning för flygtrafiktjänstens kostnader.

3.1.2.3 *Resultatens giltighet*

Känsligheten för koldioxidvärderingen är stor, eftersom beräkningarna bygger på koldioxidekvivalenter. Därför leder en halvering av koldioxidvärderingen till en halvering av klimatkostnaden för alla ingående climateffekter.

Osäkerheten i strålningsintensiteterna är också förhållandevis stor, eftersom IPCC:s osäkerhetsintervall är relativt stora.

Effekten av att cirrusmoln bildas har inte beaktats i beräkningarna på grund av att användbara estimat av climateffekten saknas. Det betyder att klimatkostnaden av denna anledning underskattas i beräkningarna ovan.

3.2 Buller

Luftfartsverket och SIKA har under året diskuterat förutsättningarna för att genomföra en förberedande studie av bullerkostnaderna, men några konkreta planer har ännu inte tagit form.

4 INFRASTRUKTUR

Infrastrukturavsnittet är i princip en sammanfattning av innehållet i tre underlagsrapporter som återfinns i *Appendix 3, 4* respektive *5*.

4.1 Definition och avgränsning av luftfartens infrastruktur

Avsnitt 4.1 utgör en sammanfattning av underlagsrapporten *A Definition of Aviation Infrastructure*, som återfinns i *Appendix 3*. I detta appendix hävdas att luftfartens infrastruktur, ur ett marginalkostnadsperspektiv, bör definieras utifrån behovet av att korrigera för marknadsmisslyckanden. Regeringen har i årets regleringsbrev uppdragit åt Luftfartsverket att beräkna de *avgiftsrelevanta* marginalkostnaderna. Luftfartsverkets tolkning är att endast de delar av luftfartens infrastruktur, där marknadsmisslyckanden föreligger kan betraktas som avgiftsrelevanta vad gäller politiskt fastslagen marginalkostnadsprissättning. En definition som ligger i linje med idéerna bakom den svenska transportpolitiken och beaktar begreppet avgiftsrelevans kan koncentrerat uttryckas enligt följande:

Infrastrukturen utgörs av samtliga strukturer som är nödvändiga för att bedriva luftfart, förutsatt att den fria marknaden inte ger ett samhällsekonomiskt optimalt utbud av dessa strukturer.

I det här avseendet finns två huvudsakliga marknadsmisslyckanden. Det första rör gemensamma nyttigheter (public goods) och det andra välfärd förluster till följd av koncentrerade marknader.

Vägar, järnvägar, hamnar och flygplatser räknas traditionellt till kategorin gemensamma nyttigheter, eftersom konsumtion av en enhet av någon av dessa nyttigheter inte hindrar någon annan från att konsumera nyttigheten. Detta är sant, om man bortser från den marginella slitagekostnaden som användaren ger upphov till. En fri marknad kommer att underförsörja medborgarna med gemensamma nyttigheter, vilket betyder att det kan finnas anledning för det allmänna att tillhandahålla medborgarna dessa nyttigheter.

Dessutom finns det anledning att bevaka att infrastrukturhållarna inte missbrukar sin dominerande ställning. Flygplatser, liksom infrastruktur för andra trafikslag, har ett stort inslag av naturliga monopol. Därför kan det, även av denna anledning, finnas fog för att se flygplatser som en del av ett offentligt åtagande.

I *Appendix 3* förs också ett resonemang kring hur infrastrukturen bör avgränsas. Det kommer naturligtvis alltid att finnas avgränsningsproblem, men det förefaller tämligen uppenbart att tjänster såsom, incheckning, säkerhetskontroller och

ombordstigning kan räknas till infrastrukturen, medan affärer, caféer och övriga kommersiella anläggningar inte bör räknas till infrastrukturen.

4.2 **Infrastruktur förutom flygtrafiktjänst**

4.2.1 Teoretisk beskrivning av marginalkostnader i terminaler

I *Appendix 4* förs ett teoretiskt resonemang kring marginalkostnader för passagerartjänster i terminaler. I det här avsnittet redovisas slutsatserna i korthet.

Odelbarheter uppstår i produktionen då en eller flera produktionsresurser inte kan förändras kontinuerligt. Ett typexempel är produktionen av incheckningstjänster. Det går inte att t.ex. låta 1,5 personer bemanna 2,3 incheckningsdiskar, utan insatsen av dessa produktionsresurser kan endast varieras diskret och heltalsvis². Detta betyder att det är svårt att definiera en generellt tillämpbar och meningsfull marginalkostnad. För små flygplatser kan det mycket väl vara så att en betydande ökning av trafikvolymen kan äga rum, utan att det är optimalt att förändra bemanningen. Det betyder att marginalkostnaden i dessa fall är lika med noll. För större flygplatser gäller i princip att trafikvolymen kan förändras marginellt, utan att bemanningen behöver förändras, men ju större flygplatsen är och ju fler som arbetar inom en viss funktion, desto mindre blir det relativa felet då den korrekta stegvisa kostnadsfunktionen approximeras med en linjär kostnadsfunktion. Slutsatsen är att man särskilt för små flygplatser kan behöva beakta effekterna av odelbarheter i produktionen vid skattning av marginalkostnaderna.

Ytterligare ett problem som belyses är effekterna av att ytterligare en passagerare väljer att flyga från en viss flygplats. Den passagerare som bokar tidigt gör det i princip möjligt för flygplatsen att anpassa bemanningen och ger därför upphov till en marginell ökning av lönekostnaderna, även om odelbarheter kan betyda att den marginella ökningen är lika med noll. För den passagerare som bokar sent kan emellertid inte bemanningen anpassas, vilket betyder att denna passagerare inte ger upphov till någon ytterligare lönekostnad. Däremot kan individen ge upphov till en trängselkostnad, men dessa kostnader hör inte till infrastrukturkostnaderna. Med detta resonemang skulle den något märkliga slutsatsen kunna dras, att den passagerare som bokar före flygplatsens bemanningsbeslut orsakar en högre marginalkostnad än den som bokar efter denna tidpunkt.

Det sista avsnittet i *Appendix 4* beskriver hur marginalkostnaden för utnyttjande av infrastrukturen påverkas, då det finns en s.k. kompensationskostnad, som uppstår när underbemanning leder till att passagerare missar sin avgång eller ger upphov till en försenad avgång, trots att passagerarna kommit i tid till terminalen. Kompensationskostnaden består av kostnaden för den försening av avgången som kan uppstå (inkl. följd effekter), kostnaden för ombokning av passagerare till

² Däremot kan arbetskraftsinsatsen, åtminstone teoretiskt, varieras kontinuerligt i den meningen att arbetstidens längd kan varieras kontinuerligt. I praktiken kan dock inte denna flexibilitet uppnås på grund av att anställningskontrakt i stort sett alltid innebär att den anställde har ett sammanhängande arbetspass på ett antal timmar och därför inte kan "friställas" under, låt säga, en halvtimme av arbetspasset för att arbetsgivaren skall få bättre anpassning av personalkapaciteten till efterfrågeläget.

senare avgångar, eventuellt av kostnad för att betala för passagerares övernattnings och möjligen även av ekonomisk ersättning. Slutsatsen är att existensen av en dylik kompensationskostnad leder till en lägre marginalkostnad än den som skulle gälla om enbart lönekostnader beaktades. Anledningen är enkel. När personalkapaciteten ökar marginellt, ökar visserligen arbetskraftskostnaden med lönen, men samtidigt minskar den förväntade kompensationskostnaden, eftersom sannolikheten för försenade passagerare minskar, då terminalkapaciteten ökar.

4.2.2 Kommentarer till beräkningar av marginalkostnader för Helsingfors-Vantaa flygplats

Inom ramen för UNITE-projektet (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) har marginalkostnaderna för infrastruktur tjänster vid Helsingfors-Vantaa flygplats skattats. En något mer detaljerad beskrivning av hur undersökningen utformades framgår av *Appendix 5*. De flesta infrastruktur tjänster (inklusive lokal flygtrafiktjänst) som produceras vid flygplatsen finns med i beräkningarna, men datamaterialet täcker inte exakt de önskvärda tjänsterna. Efter vissa personalkostnadsjusteringar och kompletterande beräkningar, vilka också beskrivs i *Appendix 5* har följande värden beräknats:

- En ytterligare landning genererar en kostnadsökning på 283 kr (EUR 31).
- En ytterligare passagerare genererar en kostnadsökning på 6 kr (EUR 0,7).

Det är också intressant att konstatera att marginalkostnaderna utgör 19 procent av genomsnittskostnaderna. Det betyder att de nuvarande avgifterna på Vantaa flygplats är betydligt högre än vad som krävs för att täcka de kortsiktiga marginalkostnaderna.

Beräkningarna kan mot bakgrund av argumentationen i *Appendix 5* innebära en överskattning av marginalkostnaderna. Vidare innebär de förhållandevis stora osäkerheterna att skattningarna endast skall betraktas som indikativa värden.

Det bör emellertid poängteras att kostnaderna avser en specifik flygplats. Helsingfors-Vantaa har visserligen ett nordiskt klimat, men kostnaderna kan skilja sig avsevärt mellan olika flygplatser bl.a. beroende på skillnader i bansystemets kapacitet och utformning, skillnader i andelen inrikes- och utrikespassagerare, skillnader i flygplanens storlek och skillnader i klimat.

4.2.3 Fallstudie för markinfrastrukturkostnader på sträckan Stockholm-Göteborg

Flygplatsavgifterna för en enkelresa Stockholm-Göteborg beräknas här som medelvärdet av avgifterna på de två flygplatserna. Samma flygplan (Boeing 737-600) som i fallstudien ovan för miljökostnaden används med det ytterligare antagandet att kabinfaktorn är lika med 60 procent.

Tabell 4.1: Flygplatsavgifter och marginalkostnader för en enkelresa mellan Arlanda och Göteborg med Boeing 737-600

Infrastrukturavgifter och skattade marginalkostnader	
Nuvarande infrastrukturavgifter	
Landnings-, buller- och avgasavgift samt TNC	4285 kr
Passagerar- och securityavgift	4176 kr
Summa	8461 kr
Skattade marginalkostnader	
Flygplansrelaterade	283 kr
Passagerarrelaterade	448 kr
Summa	731 kr

I runda tal betyder detta att de flygplatsrelaterade avgifterna med ett marginalkostnadsbaserat avgiftssystem skulle kunna vara ungefär en tiondel av nuvarande avgift, förutsatt att Vantaa-studien på ett korrekt sätt avspeglar svenska förhållanden.

4.2.4 Beräkning av flygplansrelaterade slitagekostnader

I *Underlag för fortsatt utveckling av transportpolitikens kostnadsansvar* (LFV 2000-5748-051) undersöktes sambandet mellan slitaget på rullbanor och trafikvolymen. Slutsatsen var att det inte gick att finna något samband, vilket tolkades som att flygplanen inte utövar något nämnvärt slitage på rullbanorna. Slitaget genereras i stället av klimatet och av effekter såsom oxidation av asfaltens bindemedel. Därför anges den marginella slitagekostnaden på rullbanorna till noll. Det bör påpekas att Arlanda inte kunde ingå i studien på grund av att beläggningen där varit av betong, medan övriga svenska banor har asfaltbeläggning. I den ovannämnda rapporten bortsågs från effekten av gummiavsättningar från flygplanens däck, och denna slitagekostnadskomponent beaktas därför i denna rapport. I *Appendix 6* finns en mer omfattande beskrivning av hur beräkningarna gjorts.

Slutsatsen är att inga särskilda rengöringsinsatser vad gäller gummiavsättningar behöver göras på de svenska flygplatser som är mindre än Sturup. Det betyder att denna slitagekostnadskomponent blir lika med noll för dessa flygplatser. Däremot bedöms banorna behöva rengöras från gummi för att friktionen skall upprätthållas på Sturup, Landvetter och Arlanda. Rengöringsbehovet mätt i kvadratmeter per år är grova uppskattningar, vilket betyder att resultaten är osäkra. Dessutom varierar kostnaden med vald rengöringsmetod, vilket leder till slutsatsen att denna slitagekostnadskomponent uppskattas ligga i intervallet mellan 6,60 kr och 24,20 kr per landning. Denna kostnad är en genomsnittskostnad som i verkligheten troligen varierar kraftigt mellan flygplan av olika storlek.

4.3 Flygtrafiktjänstens infrastruktur

Marginalkostnadsestimat saknas helt för den del av flygtrafiktjänsten som inte rör själva flygplatsen. Lokal flygtrafiktjänst för TWR (Tower) och APP (Approach Control Service) ingår i den ovannämnda studien för Vantaa flygplats. Däremot

ingår inte några kostnader för ACC (Area Control Service), vilket naturligtvis är korrekt i det sammanhanget, eftersom fallstudien avser en specifik flygplats.

För att täcka kunskapsluckan rörande marginalkostnaderna för infrastrukturen har en studie av marginalkostnaderna för ACC med samma metodik som den som användes i Vantaa-studien inletts under hösten. Resultat väntas under våren 2003.

5 TRÄNGSEL

Trängselkostnader kommer att i viss mån ingå i den ovannämnda studien av marginalkostnaderna för flygtrafiktjänsten.

6 OLYCKOR/SÄKERHET

Kostnader för att upprätthålla samma trafiksäkerhetsnivå vid olika trafikvolym kommer att ingå i den ovannämnda studien av marginalkostnaderna för flygtrafiktjänsten.

7 DET INTERNATIONELLA ARBETET OM EKONOMISK MILJÖSTYRNING

Detta avsnitt är en sammanfattande beskrivning av det internationella arbetet som pågår inom ECAC och ICAO rörande ekonomisk miljöstyrning. Framställningen bygger på *Underlag för fortsatt utveckling av transportpolitikens kostnadsansvar* (LFV 2000-5748-051) och redovisar arbetet under det senaste året.

7.1 Vidareutveckling och internationell harmonisering av miljödifferentierad landningsavgift

Målet för arbetet inom ECAC med miljödifferentierade landningsavgifter är att skapa en gemensam och enhetlig grund för miljöavgifter genom ett harmoniserat system för rangordning av flygplan efter utsläppsegenskaper.

Det förslag till riktlinjer som nu föreligger är i praktiken avgränsat till utsläpp av kväveoxider, även om en brytpunkt för oförbrända kolväten ingår i den föreslagna beräkningsformeln, som framgår av ECAC ANCAT/59-WP/3. Utsläpp av kväveoxider har prioriterats, dels på grund av att dessa utsläpp bedömts vara särskilt viktiga ur miljösynpunkt, dels på grund av att tillförlitliga utsläppsdata saknas för exempelvis partiklar.

För ocertifierade motorer (samtliga turbopropellermotorer och mindre jetmotorer) har utsläppsdata rapporterats av tillverkaren och Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) har givits i uppdrag att upprätta och offentliggöra en databas som skall kunna användas för avgiftsändamål för dylika motorer. Brytpunkten för kolväten har till syfte att inte gynna gammal motorteknik med förhållandevis låga utsläpp av kväveoxider men höga utsläpp av oförbrända kolväten. Utvecklingen av jetmotorer kan vad gäller dessa utsläpp schematiskt betraktas ha givit upphov till tre motorgenerationer. Den första generationen motorer hade höga utsläpp av kolväten men relativt låga utsläpp av kväveoxider. Nästa generation hade betydligt lägre utsläpp av kolväten men samtidigt högre utsläpp av kväveoxider.

Den senaste generationen karakteriseras av sjunkande utsläpp av främst kväveoxider, men även av kolväten. Om miljöavgiften enbart baserades på kväveoxidutsläppen, skulle äldre motorer komma att likställas med moderna, trots att de äldre motorerna har betydligt högre utsläpp av kolväten. Därför har en brytpunkt införts så att utsläppsvolymer av kväveoxider från motorer med utsläpp över brytpunkten 19,6 g kolväten per kN dragkraft räknas upp med en faktor, vars storlek bestäms på följande sätt: Om motors utsläpp av oförbrända kolväten överstiger brytpunkten, multipliceras utsläppsmängden av kväveoxider med den aktuella motors certifieringsvärde för kolväten dividerat med 19,6. Ett maximum för denna faktor har satts till 4,0.

Beräkningsformeln genererar ett utsläppsindex uttryckt i kg kväveoxider baserat på flygplanets certifieringsdata för utsläpp och en standardiserad LTO-cykel. För att skapa en avgift måste detta utsläpp multipliceras med en värdering. Arbetet med ECAC-modellen har emellertid inte omfattat värderingssteget. Detta blir därför en nationell fråga, där modellen inte utgör någon begränsning.

7.2 Flygets klimatpåverkan och ekonomiska styrmedel

Nuvarande inriktning för arbetet i ICAO med ekonomiska styrmedel för att minska klimatpåverkan från flyget gäller fram till generalförsamlingsmötet som skall hållas under hösten 2004. Arbetets inriktning har beskrivits i Luftfartsverkets rapport från november 2001, *Underlag för fortsatt utveckling av transportpolitikens kostnadsansvar* (LFV 2000-5748-051), under avsnitt 2.5 Global uppvärmning och flygets påverkan. ICAO:s arbete syftar till att organisationen under hösten 2004 skall kunna ge de nära 190 medlemsstaterna vägledning för utnyttjandet av miljörelaterade ekonomiska styrmedel. Samtliga emissioner omfattas av arbetet men klimatklimateffekterna utgör definitivt huvudfrågan. När det gäller flygets klimatpåverkan förespråkas frivilliga överenskommelser och avgasrelaterade avgifter som möjliga kortsiktiga åtgärder som också kan tillämpas regionalt eller lokalt. Den globala luftfartens medverkan i ett världsomfattande system för öppen handel med utsläppsrätter betraktas av ICAO som ett kostnadseffektivt alternativ på längre sikt. ICAO:s generalförsamling har därför ansett att det är angeläget att utarbeta en detaljerad vägledning för ett sådant system och att ha en nära kontakt med UNFCCC.

7.2.1 Frivilliga överenskommelser

Arbetet i ICAO har kommit långt med utarbetandet av en mall som innehåller riktlinjer och vägledning för frivilliga överenskommelser. Sådana överenskommelser är tänkta att kunna träffas mellan flygföretag å ena sidan och en eller flera stater alternativt en internationell organisation å den andra. För närvarande diskuteras i detalj utformandet av vägledning angående principer för till exempel beräkning, övervakning och kvalitetssäkring av minskningar samt åtgärder och riktlinjer för respektive parts förpliktelser och ansvar. Ett element som måste hanteras i en sådan överenskommelse är att de företag som följer överenskommelsen och vidtar åtgärder utöver det vanliga inte senare skall bestraffas för det.

7.2.2 Avgasrelaterade pålagor

När det gäller riktlinjer för avgasrelaterade pålagor har arbetet avgränsats till att behandla utsläppsavgifter och inte skatter. Studierna har visat att en vägledning från ICAO som möjliggör införandet av koldioxidavgifter kan kräva en nyansering av nuvarande ICAO-policy för hur man ser på bruket av avgifter. Avgifter har traditionellt syftat till att täcka kostnader för infrastruktur tjänster eller täcka kostnader för konkreta åtgärder som varit nödvändiga att vidta för att flygplatserna eller flygtrafiktjänsten skall kunna bedriva verksamhet, exempelvis isolering av byggnader mot buller. Avgiftsbegreppet behöver därför anpassas till möjligheten att också basera en avgift på internalisering av externa kostnader med global räckvidd. Vidare har det konstaterats att stater inte har rätt att ensidigt ta ut miljöavgifter för flygningar som sträcker sig utanför den egna statens territorialgränser. Det krävs därför globalt samförstånd för att införa miljörelaterade avgifter för flyg över det öppna havet.

Till skillnad från vad som beräknas bli fallet för frivilliga överenskommelser och handel med utsläppsrättigheter torde ICAO:s vägledning för utnyttjande av avgifter som medel för att styra klimatpåverkande utsläpp bli mindre detaljerad och av mer generell natur.

7.2.3 Handel med utsläppsrätter

Efter ingående studier av frågan har ICAO genom sin miljökommitté gått ut med en anbudsförfrågan till en rad konsultföretag för att få detaljerade och konkreta förslag i syfte att bygga ett system för en öppen handel med utsläppsrätter. Konsulten skall bland annat ge förslag på hantering och uppföljning av data, utveckla principer för handelsmekanismer, föreslå vilka som bör delta i systemet med beaktande av konkurrensaspekten och utvecklingsländernas roll, utarbeta system för fördelning av utsläppsrätter, föreslå nivåer på utsläppen samt beakta behovet av att systemet samverkar med andra sektorer och att det är knutet på lämpligt sätt till UNFCCC. Konsulten skall också belysa hur en rad legala frågor bör lösas och han skall analysera konsekvenserna av sina förslag. Konsultarbetet skall göras med iakttaganden av de specifika förutsättningar och antaganden som finns i förfrågningsunderlaget.

8 APPENDIX 1: REVIDERAD BEDÖMNING AV KONDENSSTRIMMORS KLIMATPÅVERKAN

Kondensstrimmor påminner om tunna cirrusmoln. De reducerar mängden kortvågig strålning som når jorden och mängden långvågig strålning som lämnar jorden. Kondensstrimmor leder därför till en minskad uppvärmning vid jordytan, men en uppvärmning av atmosfären. Strålningsintensiteten (nettot av dessa effekter) är i de flesta fall positivt³, men negativa värden förekommer vid vertikalt tjocka kondensstrimmor. Negativa värden förekommer även vid vertikalt tunna kondensstrimmor över mörka och kalla ytor såsom över Nordatlanten under vintern.

Enligt IPCC (1999) (sid. 100 ff) är kondensstrimmor endast betydelsefulla för klimatet om de uppträder i isövermättad luft, där de kan spridas flera kilometer horisontellt och flera hundra meter vertikalt samt bestå under en längre tid. I IPCC-rapporten redovisades ett värde ($0,02 \text{ W/m}^2$) för hur kondensstrimmor påverkar den globala strålningsintensiteten. Beräkningarna beror kritiskt av antagna värden för hur stor täckningsgraden (0,1%) och den genomsnittliga optiska tätheten (0,3) är. Osäkerheten för båda dessa faktorer bedömdes dock vara stor. Dessutom har antaganden om ispartiklarnas form och kondensstrimmornas genomsnittliga höjd betydelse.

8.1 Motiv för reviderad bedömning av kondensstrimmors klimatpåverkan

Aktuella studier indikerar att kondensstrimmornas globalt genomsnittliga optiska täthet och täckningsgrad är mindre än i IPCC (1999). För USA verkar antagandet rörande optisk täthet i IPCC-rapporten (0,3) stämma relativt väl, men för Europa förefaller den optiska tätheten⁴ vara ungefär 0,1 och för Skandinavien ungefär 0,05. Detta är ett exempel på en generell observation att den optiska tätheten minskar ju längre från ekvatorn man kommer och har primärt att göra med att det finns mer vattenånga tillgänglig för kondensation i tropiska områden⁵. Vad gäller täckningsgraden ger beräkningarna av Ponater et al. (2001) ett avsevärt lägre globalt medelvärde för täckningsgraden (0,07%) än de beräkningar som använts som bas för motsvarande medelvärde i IPCC-rapporten (0,1%).

Flera uppskattningar av hur kondensstrimmor förändrar den globalt genomsnittliga strålningsintensiteten har gjorts sedan IPCC (1999). I den senast tillgängliga rapporten⁶ redovisas både värdet 2,3 och 3,5 mW/m^2 , vilket kan jämföras med 20 mW/m^2 som redovisades i IPCC (1999) och användes i Luftfartsverkets delrapport till regeringen i juni 2002. Dessa nya värden utgör en relativt försiktig reduktion av den globala strålningsintensiteten vid en samlad bedömning av de forskningsresultat som presenterats sedan IPCC (1999). I

³ European Commission (2001), sid. 302.

⁴ Ibid., sid. 303.

⁵ Ponater et al. (2001), sid. 227.

⁶ Marquart et al. (2002). Det högre värdet (3,5 mW/m^2) bygger på en relativt godtycklig uppskrivning (med en tredjedel) av reduktionen av långvågig utstrålning från jorden för att kompensera för ett systematiskt fel i modellen.

Ponater et al. (2001) uppskattades den globalt genomsnittliga strålningsintensiteten till $0,3 \text{ mW/m}^2$. Det senare värdet skulle dessutom varit ännu lägre om beräkningen byggd på senare beräkningar av täckningsgraden⁷. En väsentlig förklaring till det lägre värdet är ett annat antagande om genomsnittlig höjd för kondensstrimmorna i kombination med modellernas stora känslighet för detta antagande⁸.

Det är naturligtvis vanskligt att föreslå ett nytt värde för strålningsintensiteten, men bedömningen är samtidigt att det är orimligt att hålla fast vid det gamla värdet då senare forskningsresultat pekar mot lägre värden⁹. Tills vidare kommer Luftfartsverket därför att använda värdet $2,3 \text{ mW/m}^2$ i beräkningar av det här slaget. Bedömningen är att detta värde snarare är för högt än för lågt för nordiska förhållanden, då ingen hänsyn tagits till att kondensstrimmor faktiskt kan ha en avkylande nettoeffekt för mörka och kalla områden. Ingen hänsyn har heller tagits till de stora skillnader i kondensstrimmornas optiska tjocklek som finns mellan områden med olika avstånd till ekvatorn. Mer kunskap om dessa och andra betydelsefulla faktorer kommer troligen att påvisa ett behov att revidera det värde, som Luftfartsverket använder i denna rapport.

I beräkningarna fördelar Luftfartsverket effekten av kondensstrimmor på basis av antalet flygplanskilometer oberoende av flygplanets storlek och inte på basis av bränsleförbrukning som i allmänhet är tydligt korrelerad till andra miljöeffekter. Detta följer den ansats som valdes i CE Delft (2001). Anledningen är att kondensstrimmor med betydande klimatpåverkan uppkommer i isövermättad omgivning, där den störning, som flygplanens omröring av luften utgör, är tillräcklig för att kristalliseringen skall inledas.

8.2 Referenser

CE Delft (2001), *External Costs of Aviation*, draft report, Delft, The Netherlands.

European Commission (2001), *European research in the stratosphere 1996-2000 – Advances in our understanding of the ozone layer during THESEO*, Energy, environment and sustainable development, EUR 19867.

IPCC (1999), *Special Report: Aviation and the Global Atmosphere*, J. E. Penner, D. H. Lister, D. J. Griggs, D. J. Dokken and M. McFarland (Eds.), Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Marquart, S. et al. (2002), *Future Development of Contrail Cover, Optical Depth and Radiative Forcing: Impacts of Increasing Air Traffic and Climate Change*, Deutsches Zentrum für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Germany.

⁷ European Commission (2001), sid. 304.

⁸ Ibid.

⁹ Marquart et al. (2002), sid. 2.

Ponater, M. et al. (2001), *A Parametrisation of Contrails for Use in GCMs in Aviation, aerosols, contrails and cirrus clouds (A2C3)*, Air pollution research report 74, European Commission, EUR 19428.

9 APPENDIX 2: THE IMPACT OF AVIATION ON THE GLOBAL CLIMATE

This paper deals with economic valuations of the climate impact of aviation. Section 9.1 below shows how these valuations have been derived, while Section 9.2 applies these valuations to the route between Arlanda and Gothenburg.

9.1 Derivation of Climate Valuations

The starting point for this paper is the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) report from 1999. In that report, eight distinct mechanisms affecting the climate are described and expressed as the radiative forcing of aircraft in 1992. *Table 1* below presents the point-estimates together with 67 percent confidence intervals.

Table 1: Radiative Forcing from Aircraft in 1992

Radiative forcing due to	Point-estimate 1992 (W/m ²)	Confidence interval		Understanding
		low	high	
CO ₂	+ .018	+ .013	+ .023	good
O ₃ (från NO _x)	+ .023	+ .011	+ .046	fair
CH ₄ (från NO _x)	- .014	- .005	- .042	poor
H ₂ O	+ .002	+ .000	+ .005	poor
Contrails	+ .02	+ .005	+ .06	fair
Cirrus clouds	(0 - .04)	-	-	very poor
Sulphate aerosols	- .003	- .001	- .009	fair
Soot aerosols	+ .003	+ .001	+ .009	fair

Source: IPCC (1999)

Recent scientific reports indicate that the climate impact of contrails may be substantially less than the IPCC-estimate. In the report published by the Swedish CAA in June 2002 (LFV 2002-0089-051) the above IPCC valuation was used. To reflect recent research a value of 0.0023 W/m² is used in this report. This corresponds to an almost ten-fold reduction in the climatic impact of contrails. This new value is based on a rough evaluation of three recent scientific reports¹⁰. However, future research and a more thorough study of the existing knowledge in this field is likely to lead to future revisions of this value.

The calculations in this paper basically use the same methodology as in CE Delft (2001). Therefore, the effects of sulphate aerosols and soot are excluded, since these effects seem to cancel. Furthermore, the effect of cirrus clouds is omitted because of the very large uncertainty. The impact on the climate of emitting water vapour, for instance, can vary substantially by local and regional atmospheric conditions, but, in order to make it possible to present numerical results, globally averaged data are used.

¹⁰ European Commission (2001), Ponater et al. (2001) and Marquart et al. (2002).

The calculations can most easily be followed by studying *Tables 2 and 3*. The radiative forcing is normalised to unity for CO₂, which means that the other climate effects are expressed as CO₂-equivalents. These CO₂-equivalents are then evaluated using an estimate of the cost to reach the EU reduction requirements of the Kyoto agreement¹¹ in *Table 2* and using the central estimate in Bickel et al. (2001) for damage costs in *Table 3*, respectively.

Table 2: Valuation of Climate Impact from Aviation (high estimate)

Calculations based on 1992 emissions	CO ₂	H ₂ O	No _x	Contrails
Emissions ¹ during 1992 (kg)	5,06E+11	2,02E+11	1,92E+09	
Annual aircraft kilometres ²				2,07E+10
Radiative forcing (W/m ²)	0,018	0,002	0,009	0,0023
Radiative forcing per kg of emission	3,56E-14	9,90E-15	4,69E-12	
Radiative forcing per aircraft km				1,11E-13
CO ₂ -equivalents	1	0,28	132	3
Valuation ³ of CO ₂ -emissions (SEK per kg)	0,022			
Valuation of climatic impact (SEK per kg)	0,022	0,0061	2,9	
Valuation³ of climatic impact (SEK per km)				0,068

¹ CE Delft (2001): Table 12, p. 45

² IPCC (1999), Table 9-3, p. 302

³ Bickel et al. (2001) p. 136.

Table 3: Valuation of Climate Impact from Aviation (low estimate)

Calculations based on 1992 emissions	CO ₂	H ₂ O	No _x	Contrails
Emissions ¹ during 1992 (kg)	5,06E+11	2,02E+11	1,92E+09	
Annual aircraft kilometres ²				2,07E+10
Radiative forcing (W/m ²)	0,018	0,002	0,009	0,0023
Radiative forcing per kg of emission	3,56E-14	9,90E-15	4,69E-12	
Radiative forcing per aircraft km				1,11E-13
CO ₂ -equivalents	1	0,28	132	3
Valuation ³ of CO ₂ -emissions (SEK per kg)	0,55			
Valuation of climatic impact (SEK per kg)	0,55	0,15	72	
Valuation of climatic impact (SEK per km)				1,7

¹ CE Delft (2001): Table 12, p. 45

² IPCC (1999), Table 9-3, p. 302

³ Swedish commitment according to the Kyoto-protocol

¹¹ The Kyoto-agreement states that EU, on average, shall reduce its emissions by 8 percent. Swedish emissions shall be reduced by 4 percent according to this agreement. The CO₂-value used here is the sum of the average existing CO₂-tax within the EU (SEK 0,45 per kg CO₂) and a recent estimate of an equilibrium price for tradeable permits of SEK 0,10 per kg of CO₂. See SIKÅ report 2002:4, pages 123-124, for further details.

These tables show that the spread of the estimates is large and depends critically on the economic valuation of carbon dioxide, since all effects are evaluated using CO₂-equivalents. The case study below exemplifies these valuations by calculating the climatic cost of a one-way flight from Arlanda to Gothenburg.

9.2 Case Study: Climatic Impact from a Flight between Stockholm-Arlanda and Gothenburg

The climatic environmental costs of a flight from Arlanda to Gothenburg are estimated in this section. The flight is assumed to be undertaken by a Boeing 737-600 which is a modern aircraft with good environmental specifications. The emission data available to the Swedish CAA for this aircraft are based on a 389 km distance, whereas the distance between Arlanda and Gothenburg is 393 km. This small deviation is, however, assumed as having no significant impact on the results.

Apart from LTO-emissions¹², the case study route gives rise to 4 590 kg CO₂, 13.43 kg NO_x and 1 836 kg water vapour. These emissions refer to the part of the flight above the standard LTO-limit of 3 000 ft. The estimate regarding contrails is actually somewhat biased as these calculations are based on the global average annual flight-km whereas short flights as those between Stockholm and Gothenburg have a rather large share of the flight taking place on lower altitudes where contrails normally are not formed. To take into account the fact that the actual distance flown is longer than the point-to-point distance an airways allowance of 15 percent has been added. This allowance is not based on the actual airways for this route but based on a general allowance for short-haul flights¹³. The estimated environmental costs are presented in *Table 4*.

Table 4: Estimated Climate cost for a one-way flight with a B737-600 (LTO-emissions omitted) between Arlanda and Gothenburg

Climate-affecting factor	Quantity	Environmental cost per flight (SEK)	
		<i>low</i>	<i>high</i>
CO ₂	4 590 kg	101	2 524
NO _x	13,43 kg	39	973
H ₂ O	1 836 kg	11	281
Contrails	452 km	31	776
Total climate cost		182	4 555
CO ₂ -valuation (SEK per kg)		0,022	0,55
Point to point distance	393 km		
Airways allowance	15 %		
Estimated flight distance	452 km		

¹² All emissions during take-off and landing are excluded in this discussion and will instead be included in a separate future LTO-study.

¹³ Air Transport Group, Cranfield University (2001).

As can be seen, there is considerable uncertainty and the current level of scientific understanding does, unfortunately, not make it possible to estimate these costs precisely. Research will probably lead to more precise estimates in the future, but it will probably take many years to reduce uncertainty substantially. Note that this table does not show the whole range of uncertainty, as the central estimates for radiative forcing are used. The interested reader can, though, make a sensitivity analysis for this kind of uncertainty using the upper or lower limits from *Table 1*.

As a comparison, the current charge en route for this flight is approximately SEK 2115, which means that there may be enough space within the present charge en route to make a full internalisation of the climatic cost, but this cannot be guaranteed as the high cost estimate is more than twice as high as the present charge. Note that the current charge is based on cost recovery and has no environmental component.

9.3 Validity of the results

The sensitivity for the CO₂-valuation is large, since all values are based on CO₂-equivalents. Thus, a 50 percent reduction in the valuation of CO₂ leads to a 50 percent reduction in the cost for all climatic factors. The uncertainty regarding the radiative forcing is also quite considerable, which is illustrated by the width of the IPCC (1999) confidence intervals.

Since there are no usable estimates of the effect of cirrus clouds, this effect is excluded from the analysis. This means that the environmental cost, for this reason, is underestimated.

9.4 References

Bickel, P. & Friedrich, R. (2001), *Environmental External Costs of Transport*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

CE Delft (2001), *External Costs of Aviation*, draft report, Delft, The Netherlands

European Commission (2001), *European Research in the Stratosphere 1996-2000: Advances in our Understanding of the Ozone Layer during THESEO*, EUR 19867.

Air Transport Group, Cranfield University (2001), *A Cost Study of the Swedish Domestic Airline Market*, Consultancy report for Luftfartsverket, LFV 2001-2479-129.

IPCC (1999), *Special Report: Aviation and the Global Atmosphere*, J. E. Penner, D.H. Lister, D.J. Griggs, D.J. Dokken and M. McFarland (Eds.), Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Marquart, S. et al. (2002), *Future Development of Contrail Cover, Optical Depth and Radiative Forcing: Impacts of Increasing Air Traffic and Climate Change*, Deutsches Zentrum für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Germany.

Ponater, M. et al. (2001), *A Parametrisation of Contrails for Use in GCMs in Aviation, aerosols, contrails and cirrus clouds (A2C3)*, Air pollution research report 74, European Commission, EUR 19428.

SIKA (1999), *Översyn av samhällsekonomiska kalkylprinciper och kalkylvärden på transportområdet*, Statens institut för kommunikationsanalys, SIKA Rapport 1999:6, Stockholm.

SIKA (2002), *Översyn av samhällsekonomiska metoder och kalkylvärden på transportområdet*, Statens institut för kommunikationsanalys, SIKA Rapport 2002:4, Stockholm.

10 APPENDIX 3: A DEFINITION OF AVIATION INFRASTRUCTURE

The Swedish Civil Aviation Administration has been asked by the Swedish government to study the possibility of basing transport pricing on the social marginal cost. The basic idea is to correct the social inefficiency caused by market imperfections such as externalities and natural monopolies through a transport pricing based on the short-run social marginal cost.

10.1 Theoretical Discussion

There is a need for an explicit definition of the aviation infrastructure in order to determine which parts of the air transport system that belong to the infrastructure and thus should be priced according to marginal cost¹⁴. In order to create overall consistency, it is argued that the basic idea of correcting market imperfections should also form the basis of a definition of the infrastructure. The discussion of an appropriate definition will, though, start with an encyclopaedic definition.

Infrastructure is, according to the Swedish National Encyclopaedia (Nationalencyklopedin), defined as *the basic structures and the operation of these structures needed to support citizens and as prerequisites for production: roads, railways, airports and harbours, power plants, distribution systems of electricity and other devices for distributing energy, water and drainage systems, telecommunications and the education system. Infrastructure is thus to a large extent a matter of services for which central and local government are responsible*. The definition has three major parts. The first part describes the properties of infrastructure (*the structures needed to support citizens and as prerequisites for production*), the second part lists some examples of infrastructure while the third states that infrastructure normally is a government concern. In the list, all four transport modes are mentioned as well as non-transport infrastructure. No matter how appealing the definition above may seem, it is not sufficient for the needs of applying marginal cost pricing to the aviation sector.

The third part of the definition above is most important for this paper and most intimately related to the idea of correcting market imperfections. The definition of the aviation infrastructure will thus be based on the reasons why government provision of some goods can be preferable to provision based on individual economic agents. Government provision of goods can be justified by four basic sets of economic reasons¹⁵:

¹⁴ To arrive at a pareto-optimal allocation of resources, prices in all sectors should equal marginal cost.

¹⁵ This part of the paper is largely based on Rees(1984) p. 2-5. He discusses the provision of goods through public enterprises but his arguments are valid for the provision of goods through other government agencies as well.

- 1 To 'correct' market failure.
- 2 To alter the structure of payoffs in an economy.
- 3 To facilitate centralized long-term economic planning.
- 4 To change the nature of the economy, from capitalist to socialist.

Rees discusses all these four reasons but the focus of this paper will be on market failure¹⁶, since the correction of market failure is the basis for the application of social marginal cost pricing in the first place. Rees definition of market failure is:

*The market system is said to fail when it brings about a resource allocation which is inferior, in a certain sense, to some others which are feasible given the resources and technological possibilities in the economy. Theory suggests that market failure tends to occur in the presence of monopoly and oligopoly, when significant externalities exist, or when we have a 'common-property' resource.*¹⁷

From a transport infrastructure point-of-view the main reason for public provision of roads, railways, airports and harbours originates from the need of regulating *monopolies* or the economic problem with *common-property*¹⁸. When *exclusion*¹⁹ is possible, the main reason for public provision is to regulate monopoly behaviour. Exclusion is a real problem within the road sector since it is difficult to exclude individual cars from using the road system and therefore very difficult to charge motorists for the actual use of the road. Within the air and rail sectors, on the other hand, passengers, freight and vehicles can be closely monitored by operators and providers of infrastructure and this possibility facilitates a more or less perfect exclusion²⁰.

As exclusion is possible for the air and rail sectors, the main issue is how the disadvantages of monopoly behaviour can be kept to a minimum. A natural monopoly exists when cost conditions in an industry are such that one firm can produce a particular output at a lower cost than is possible with any other organisation of production that includes more than one firm. Natural monopolies are an important feature of aviation and rail infrastructure, since high costs have to

¹⁶ A note about the second reason above is that the Swedish Civil Aviation Administration delivers parts of its profits from the operation of its 19 Swedish airports to the government. This payment can be considered as a taxation of air passengers as money is distributed from passengers to the public sector as a whole.

¹⁷ Rees (1984) p. 2.

¹⁸ The *common-property* problem is equivalent to the problem of *public goods*. When there is no congestion, roads, railways, airports and harbours belong to the common-property category as the consumption of a unit of these goods by one agent does not preclude its consumption by another agent. Put differently, when one buys an apple, for instance, the total amount of apples available for consumption by other individuals is reduced by one unit, while the usage of a certain road, for example, does not preclude others from using it. This is true, apart from the external effects of tear and wear and congestion caused by a vehicle.

¹⁹ See for instance Mas-Colell et al (1995) p. 360.

²⁰ The airlines can keep perfect records of all passengers through the ticketing system but for certain kinds of train services it might not be worth the cost to issue individual tickets. A significant share of all passengers on commuter trains have monthly travel cards and once a passenger has bought a travel card his travels cannot be monitored or excluded.

be incurred in establishing an appropriate supply network. The cost of creating a railway network or the airport nodes for an air network is, in most cases, so large that it is unrealistic to imagine more than a single railway network or a single set of airports²¹. A single network then has been taken to imply a single provider. If a single provider maximises its profits, then economic theory states that the monopolist will charge a price above marginal cost and supply a sub-optimal level of output²².

The infrastructure of aviation should therefore, from the purpose of marginal cost pricing, be defined from the need to correct market failure. This is in line with the overall purpose of the marginal cost project. The most condensed formulation of a definition expressing this central thought is probably:

All structures needed to facilitate air transport form the aviation infrastructure, provided that market failure leads to a socially sub-optimal supply of these structures²³.

The purpose of this definition is to facilitate an identification of which structures are ‘price-relevant’ in the sense that regulated marginal cost pricing schemes should be implemented in order to correct market failure. This means that the above definition may be very inappropriate for other purposes.

10.2 Exemplifications of the Infrastructure of Aviation

The next step is to determine in more detail which aviation structures belong to the infrastructure as defined above.

10.2.1 Structures Belonging to the Aviation Infrastructure

The structures belonging to the aviation infrastructure can be divided into two main categories: Aeronautical Services and Non-Aeronautical Services.

10.2.1.1 Aeronautical Services

Air navigation services for a specific airspace sector must be supplied by a single provider for obvious safety reasons. This creates a monopoly situation which has to be regulated to avoid socially sub-optimal behaviour. There may, of course, be different providers for different airports or different airspace sectors but it is hardly possible to have competing ANS firms providing services for the same sector or airport. This does not mean, however, that a tendering process for the allocation of rights to provide air navigation services is impossible. On the contrary, a tendering process can be seen as a way of correcting the market imperfections. It can however not be guaranteed that a tendering process leads to a

²¹ For all Swedish towns except Stockholm and possibly Gothenburg there only exists one airport with regular passenger traffic per town.

²² Regulations may also lead to monopolies or increase the adverse effect of natural monopolies. As an example, restrictions may be imposed, for environmental reasons, on the maximum number of airports or runways allowed in a given region.

²³ The *operation* of the structures is also included in the definition in line with the general Swedish National Encyclopaedia definition above.

socially optimal solution, if there are substantial fixed costs or other economies of scale. Large fixed costs may generate a natural monopoly and fixed costs are substantial for air navigation services.

10.2.1.2 Non-Aeronautical Services

The non-aeronautical services can be divided into two main categories. Firstly, there are functions needed for the intermodal change of passengers, luggage and freight (passenger-related infrastructure) and secondly functions that are related to the operation of aircraft (aircraft-related infrastructure). The reason for dividing the services into these two categories is that marginal costs should be possible to relate to volume of output; either per passenger (per unit of freight) or per aircraft movement. The marginal costs of passenger-related infrastructure are related to passengers or freight packages while the marginal costs of the aircraft-related infrastructure are related to aircraft. The main components of these categories are listed below.

The majority of Swedish airports are so small that efficiency probably cannot be improved by splitting parts of the non-aeronautical infrastructure into separate firms²⁴. Even though an airline has the right to self-handle a number of groundhandling services at larger airports, airlines with little traffic on a particular airport may find it cost-inefficient to self-handle. However, buying these services from a monopoly provider (with fixed costs) is likely to mean that the price charged is well above marginal cost. There is therefore, from a theoretical point-of-view, a potential need for society to replace commercial provision of these services by regulated marginal cost based provision where the commercial price of these services is significantly higher than the associated marginal cost.

Even for the larger airports where it is possible to have competing providers, there is by no means a guarantee that duopoly or triopoly leads to a socially efficient outcome.

10.2.1.3 Passenger-related Infrastructure

Infrastructure directly related to other modes of transport:

- Parts of the road network
- Parking spaces
- Bus stations
- Rail stations
- Staff operating these facilities

²⁴ This view is supported by Swedish legislation (SFS 2000:150) which is based on the Council Directive (96/67/EC). According to these regulations, any operating airline has the right to self-handle, with the exception of the following groundhandling services where a Member State has the right to reserve self-handling to no fewer than two airport users: fuel and oil handling, freight and mail handling, baggage handling and ramp handling. If the annual traffic volume is less than 1 million passengers or 25 000 tonnes of freight, then there is no right to self-handle the services mentioned above. Furthermore, for airports with fewer than 2 million passengers per year, there is no right to free market access for groundhandling providers for third parties.

Infrastructure related to passengers:

- Terminal buildings²⁵
- Public spaces necessary for waiting and queuing
- Check-in facilities
- Security control facilities
- Gate control facilities
- Air bridges or buses for remote stands
- Staff operating these facilities

Infrastructure related to luggage:

- Luggage trolleys
- Conveyors
- Sorting equipment
- Loading/unloading equipment
- Staff operating these facilities

Infrastructure related to freight:

- Physical handling of freight and mail
- Customs procedures
- Security procedures

10.2.1.4 *Aircraft-related Infrastructure*

- Runways, taxiways and parking spaces
- Equipment for removal of snow and ice on runways etc.
- Installations for telecom and electricity
- De-icing facilities
- Air bridges
- Equipment for refuelling and cyclic checks
- Fire brigades
- Staff operating these facilities

10.2.2 Structures not Belonging to the Aviation Infrastructure

The operators of air services (the airlines) do not face a common-property or public goods problem. The lack of effective competition on many air routes is definitely a problem²⁶ which partly emanates from the existence of natural monopoly. This problem could in principle call for regulation of the airline market but there are no signs at all of political initiatives towards a reregulation of this market. The prevailing idea is instead that this problem should be solved by anti-trust legislation and other competition regulations. The reason behind this is that the content of natural monopoly is regarded as being so small that the damage of market power is smaller than the sum of *i*) the damage of potential errors regarding prices and quantities determined by an imperfectly informed regulator and *ii*) the cost of administrating a regulation. This disqualifies the operators from being a part of the infrastructure.

²⁵ Commercial spaces should not be included.

²⁶ Luftfartsverket: *Inrikesflygets marknadsförutsättningar*, Rapport 2001:6.

Few people would argue that the public spaces in terminals, used by passengers for waiting before check-in, gate control or embarking, are not a prerequisite for the air transport system. On the contrary, business lounges, a special kind of waiting spaces, can hardly be counted to the infrastructure as these are not a necessity for air transport. They fall outside the public responsibility for the air transport system, even though the airport owner may be a monopolist who charges rents higher than marginal cost. The same kind of argument can be used for shops and conference spaces within the airport. Society may still want to ensure that these services are provided in a socially optimal way but that should not be a responsibility for the aviation infrastructure.

Another interesting question is whether catering facilities ought to be counted to the infrastructure. Catering may be provided by a single groundhandling supplier which would mean that the condition of market failure may be fulfilled but it is by no means clear that catering should be considered as a necessity for air transport.

10.3 References

Council Directive 96/67/EC of 15 October 1996 on access to the groundhandling market at Community airports

Lag (2000:150) om marktjänster på flygplatser

Luftfartsverket (Swedish Civil Aviation Administration): *Inrikesflygets marknadsförusättningar*, Rapport 2001:6

Mas-Colell, Andreu et al. (1995) *Microeconomic Theory*, Oxford University Press, New York

Rees, Ray (1984) *Public enterprise economics*, Weidenfield and Nicolson, London

11 APPENDIX 4: MARGINAL COSTS FOR THE USE OF THE AVIATION INFRASTRUCTURE

According to the definition of aviation infrastructure used in this report, both the structures and the operation of the structures are included in the infrastructure. Here the marginal costs of terminal operations are described theoretically.

Among the most important parts of the terminal infrastructure are facilities enabling check-in, baggage handling, security control and gate control. These facilities have a lot in common. The capacity of these facilities, measured as a maximum flow of passengers or bags per time unit, can be adjusted in the long run through different kinds of investments. Moreover, there is a need for staff to operate the facilities and in the short run these labour costs can be adjusted²⁷, while all costs are fixed in the very short run.

The marginal costs for check-in counters will be calculated below, as this kind of infrastructure is especially convenient to describe theoretically. The qualitative results can, however, be transferred to the other categories of terminal facilities.

11.1 A Derivation of Marginal Costs for Check-in Facilities

A check-in counter is a piece of capital, which, for its operation, requires exactly one worker at a time to be productive. Denote the number of counters by

$$K = \{k \in Z | k \geq 0\},$$

where Z is the set of all integers. Furthermore, let

$$L = \{l \in Z | l \geq 0\}$$

denote the number of staff available to operate the check-in counters. Technology is described by

$$\hat{q} = \alpha \cdot \min\{k, l\},$$

where α is a real number larger than zero. This expression states that the capacity, \hat{q} , or the maximum flow of passengers who can be processed per unit of time, is proportional to the minimum of $\{k, l\}$. In other words, a check-in counter can only contribute to production if it has one member of staff operating it at a time, and a member of staff can only contribute to production if he or she has a counter to use. The set of possible outputs from production is denoted

²⁷ Labour cannot, of course, be increased beyond the point where all capital (e.g. check-in counters) is already in use.

$$Q = \{q \in R | 0 \leq q \leq \hat{q}\},$$

where R is the set of all real numbers. The production set is then given by

$$Y = \{Q, -K, -L\}.$$

The operator of the check-in counters is assumed to minimise costs. There are two distinct problems depending on the time horizon. In the long run, both capital and labour can be varied freely. In the short run capital is assumed to be fixed²⁸.

11.2 The Long-run Problem

The operators' long-run problem is thus

$$\min_{k,l} k \cdot r + l \cdot w \text{ s.t. } y \in Y,$$

where r is the cost of capital and w is the wage rate for labour. Remember that, in the long run, both K and L can be varied freely. If $r > 0$, then it is optimal to adjust the capital level so that there is no capital that is not being used. Thus $K \leq L$ in optimum. Another condition is that in optimum the amount of labour must be adjusted so that no workers are employed without having the equipment needed to produce any check-in services. Thus, $L \leq K$ and hence, K must equal L in optimum. Then the cost function for a production between 0 and \hat{q} is

$$C([0, \hat{q}]) = (r + w) \cdot \frac{\hat{q}}{\alpha},$$

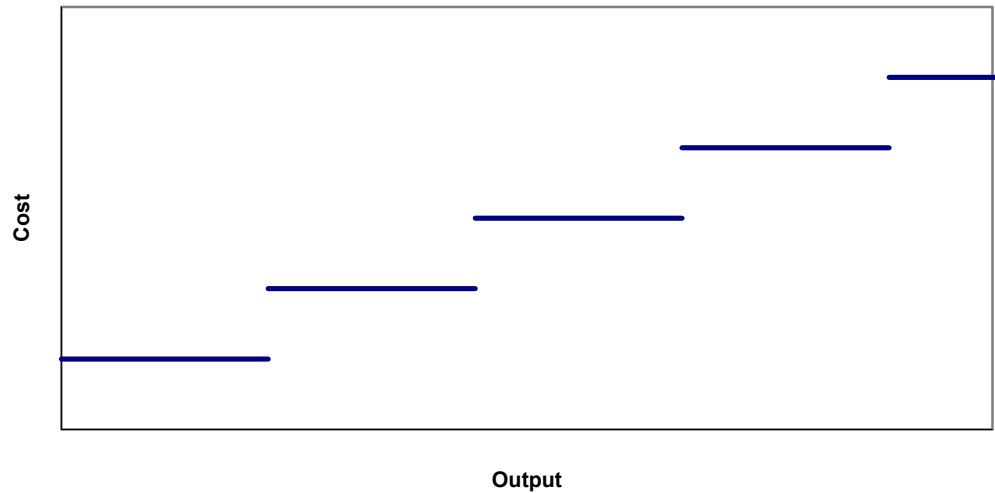
which means that the long-run marginal cost, LMC , for a wide range of output, is given by

$$LMC = \frac{\partial C([0, \hat{q}])}{\partial q} = 0,$$

since any increase in output that is too small to be optimally met by the smallest possible discrete increase in capacity would incur no extra cost. The cost function is illustrated in *Figure 1* below. For a marginal increase in production that requires a discrete increase in capacity, the marginal cost does not exist.

²⁸ In practice, it may be more time-consuming to increase or decrease the amount of labour than to buy or sell a check-in counter.

Figure 1: Long Run Cost Function



When the number of staff and check-in counters becomes large, the effect of indivisibilities in production diminishes, and production q can be approximated by capacity \hat{q} . In that case

$$LMC = \frac{\partial C([0, \hat{q}])}{\partial \hat{q}} \approx \frac{r + w}{\alpha},$$

which is an example of a linear cost function with constant marginal cost larger than zero.

11.3 The Short-run Problem

In the short run, K is fixed and equal to \bar{k} . It can then be shown that

$$C([0, \hat{q}]) \Big|_{k=\bar{k}} = \bar{k} \cdot r + w \cdot \frac{\hat{q}}{\alpha}, \text{ if } \hat{q} \leq \alpha \cdot \bar{k},$$

since production cannot be increased beyond $q = \alpha \cdot \bar{k}$ due to the limitations of the given amount of capital. The short-run marginal cost, SMC , is then given by

$$SMC = 0, \text{ if } \hat{q} < \alpha \cdot \bar{k}$$

for all outputs except at the points of discontinuity where SMC is undefined. For all outputs greater than what the given amount of capital allows ($\hat{q} > \alpha \cdot \bar{k}$)

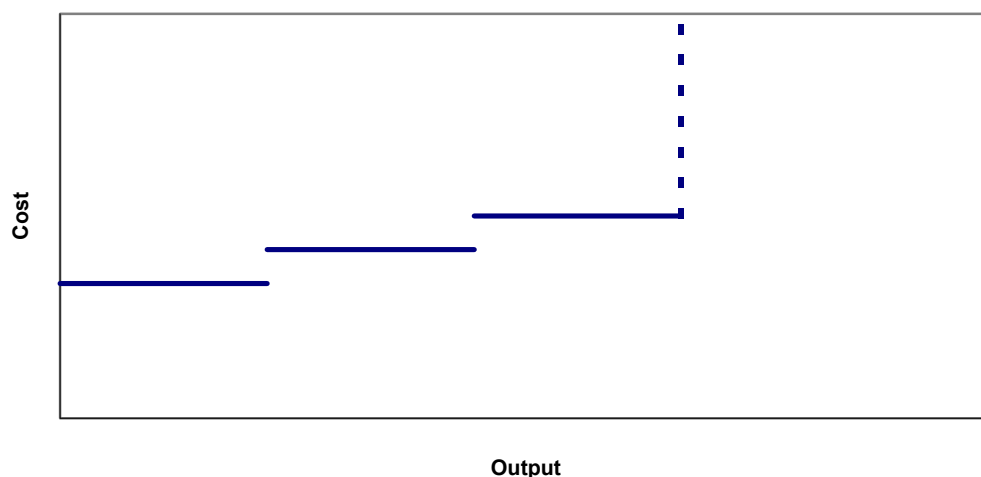
$$SMC = \infty,$$

which is illustrated in *Figure 2* below. Using capacity as a proxy for output for the same reason as above gives

$$SMC = \left. \frac{\partial C([0, \hat{q}])}{\partial \hat{q}} \right|_{k=\bar{k}} \approx \frac{w}{\alpha}, \text{ if } \hat{q} \leq \alpha \cdot \bar{k},$$

which just states that the marginal cost of one additional passenger is equal to the wage per unit of time divided by the output per unit of time and person.

Figure x: Short Run Cost Function



One important conclusion is that one has to answer the question of how important indivisibilities are, since the existence of indivisibilities affects the size of the marginal costs considerably. This is an empirical question and the answer is likely to depend on the size of the airport.

11.4 Dynamic Aspects

In those cases where it is reasonable to use capacity as a proxy for output, marginal costs are greater than zero, which means that there is a cost which is relevant to price. When considering a pricing scheme in practice a number of questions arise.

- Is labour more or less flexible than capital?
- For how long time is labour fixed and when does it become flexible?

The first question has no straightforward answer in general. Check-in staff, however, is believed to have shorter term contracts of employment than employees in general. Moreover, this category of staff is believed to change jobs rather often. Therefore, it might be reasonable to assume that labour is more flexible than capital, at least for small changes in volume. For large airports,

labour can probably be adjusted without major obstacles. For small airports, on the contrary, the problems with indivisibilities may be important.

An assumption, which is not based on any empirical evidence, is that marginal adjustments in capacity for a large airport can be made with a time horizon of, say, one to three weeks. This means that an additional economy passenger booking in advance would give rise to a marginal increase in labour costs. An additional business passenger booking late would not give rise to an increase in labour costs as neither labour nor capital can be adjusted on such a short notice.

The conclusion is that passengers booking in advance should be “penalised” by a higher charge for use of terminal facilities, if the charge is based on ex post marginal costs.

However, this conclusion does not take into account the effects of demand uncertainty. The provider of check-in services would base its staffing decision on all information available. When the staffing decision is made, the provider would, at least in principle, have information on the number of existing bookings and an estimate, based on historical data, of the number of passengers normally booking late. Then one could argue that the late-booking business passenger should pay the ex ante marginal cost which should be based on the ex ante costs for labour. The problem is that an unexpected increase in passenger demand would not give rise to an increase in costs, which means that passengers would pay more than the ex post cost. If the estimates are right on average and the staffing decisions are based on these estimates, then, on average, passengers would pay the correct charge.

There is, however, reason to believe that demand uncertainty affects the staffing decision via the cost that arises when passengers arrive in time at the terminal but still miss their flight or cause delay to their departure because of a lack of personnel capacity. This will be studied in the next section.

11.5 Uncertainty and Cost Penalty for Passengers Missing a Flight

This section describes the problem of choosing an optimal capacity in the case where there is a considerable cost for passengers missing a flight or causing delay to a flight. Consider a passenger who arrives at the terminal within the check-in time limit but either misses his flight or causes a delay to the flight, because too few check-in counters are operated. The delay caused can be small but still be important. If the result of the delay is that the aircraft misses its slot, then there could be a lot of waiting for the next available slot. Furthermore, the airport or airline may have to pay compensation to the passenger if he misses his flight and there is also a cost for the airline to change the passenger's booking to another flight. If the passenger intended to go with the last flight a given day, there may also be a cost for accommodation. All these costs will be labelled compensation costs and are likely to increase rapidly when more passengers become delayed. The possibility of finding spare seats on later departures is likely to disappear rapidly in more extreme cases of delays. Systematic problems with undermanned check-in facilities would in extreme cases lead to a breakdown of the network as

well as credibility problems. The service provider can, however, influence the probability of a capacity problem arising. The larger capacity the provider chooses ex ante, the less is the probability of an ex post capacity problem. To analyse this issue, the simple model described below will be used.

11.5.1 Modelling Demand

In the case where there is no uncertainty, the service provider can always match capacity and demand perfectly (apart from the effects from indivisibilities) by adjusting the number of staff to demand as long as demand is less than or equal to the short-run capacity limit given by the level of capital (the number of check-in counters). In reality, however, there will be demand uncertainty for a number of reasons. Some passengers prefer to arrive at the terminal well in time while others prefer to check-in late. Furthermore, the traveller can never forecast the time it takes to get to the terminal perfectly. Quite a few bookings and cancellations are made after the decision to schedule staff. These arguments motivate the incorporation of demand uncertainty into the model. The simplest way to model uncertain demand is to assume that demand is high with probability p and low with probability $(1-p)$. High and low demand are denoted by D and d , respectively.

11.5.2 Modelling Costs

It was argued above that the so called compensation cost for passengers missing their flights because of terminal capacity problems increases rapidly with the number of passengers missing their flights. Hence, the compensation cost,

$$\alpha_1(D-q)^2 \text{ and } \alpha_1(d-q)^2,$$

where α_1 is a positive constant, is modelled as being quadratic. Note that these expressions only are valid for $D \geq q$ and $d \geq q$, respectively, as the compensation cost only occurs when demand is larger than capacity²⁹ q . The total expected cost is thus given by

$$C_1 = \alpha_0 q + \alpha_1 [p(D-q)^2 + (1-p)(d-q)^2], \quad (1)$$

where α_0 is the wage rate for staff. The expected cost is thus the sum of labour costs and the expected compensation cost.

Since the compensation cost expressions only are defined for $D \geq q$ and $d \geq q$, three separate cases have to be considered. First, when $0 \leq q \leq d$, the service provider has to pay non-negative compensation costs both when demand is high and low and costs are then given by (1). Second, when $d \leq q \leq D$, the

²⁹ In this model no distinction is made between actual production and capacity. Therefore the $\hat{\cdot}$ is dropped.

compensation cost only occurs when demand is high, which reduces the cost expression to

$$C_2 = \alpha_0 q + \alpha_1 p (D - q)^2. \quad (2)$$

In the third case $q \geq D$. This case is economically uninteresting since no rational provider would invest in more capacity than needed when demand is high.

11.5.3 Minimisation of Costs

Assume that the provider minimises costs given by (1) and (2) with respect to q . The first order conditions are

$$\frac{\partial C_1}{\partial q} = \alpha_0 + 2\alpha_1 p (d - D) + 2\alpha_1 (q_1^* - d) = 0 \quad (3)$$

and

$$\frac{\partial C_2}{\partial q} = \alpha_0 + 2\alpha_1 p (q_2^* - D) = 0, \quad (4)$$

where q_i^* indicates the optimal capacity when costs are described by C_i . Solving (3) and (4) for the optimal capacities gives

$$q_1^* = pD + (1 - p)d - \frac{\alpha_0}{2\alpha_1} \quad (5)$$

and

$$q_2^* = D - \frac{\alpha_0}{2p\alpha_1}. \quad (6)$$

The optimal quantity is increasing in expected demand in expression (5) whereas expression (6) states that the optimal quantity increases with high demand, since, in this case, the capacity is so high that no compensation cost will occur when demand is low. Furthermore, the higher the wage rate is relative to the compensation cost, the lower is the optimal capacity. Expression (5) applies when $0 \leq q \leq d$. It follows from (5) that $q \leq d$ when

$$\alpha_1 p (D - d) \leq \frac{\alpha_0}{2}, \quad (7)$$

and, moreover, from (6) that $q \geq d$ when

$$\alpha_1 p(D - d) \geq \frac{\alpha_0}{2}. \quad (8)$$

The relative size of labour costs and compensation costs will thus determine whether it is optimal to choose a high or a low capacity. One can also see that a high statistical dispersion measured as the difference between high and low demand, generally speaking, leads to a higher capacity in optimum.

11.5.4 Conclusions

The most important result is that the marginal costs given by (3) and (4) are smaller than α_0 which means that basing an estimation of marginal costs on the whole labour cost overstates the marginal costs. The explanation is simple. When capacity is increased slightly, labour costs will increase by the wage rate but the expected compensation costs will, at the same time, decrease.

APPENDIX 5: KOMMENTARER TILL UNITE-STUDIEN OM MARGINALKOSTNADER VID HELSINGFORS-VANTAA FLYGPLATS

Inom ramen för UNITE-projektet (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) har marginalkostnaderna för infrastruktur tjänster vid Helsingfors-Vantaa flygplats beräknats.

Studien bygger på kostnads- och trafikvolymdata från en vintervecka (5 februari till 11 februari) och en sommarvecka (28 maj till 3 juni) under 2000. Under dessa veckor har detaljerade uppgifter samlats in om hur många som arbetat timme för timme inom de infrastruktur tjänstområden som skuggats i *tabell 1* nedan. I rapporten diskuteras relativt utförligt hur antalet tjänstgörande individer varierar med trafikvolymen. Däremot har kostnaden per arbetstimme beräknats på ett betydligt mer översiktligt vis. Slutsatsen i rapporten är att en extra flygplansrörelse i genomsnitt genererar en extra persontimme och att en persontimme kostar ungefär EUR 38. Vidare konstateras att marginalkostnaden utgör 19 procent av genomsnittskostnaden som uppgår till 5,3 arbetstimmar per flygplan.

Nedan kommenteras rapporten om Vantaa flygplats och värderas möjligheten att tillämpa resultaten för svenska flygplatser.

Tabell 1. Airport services and their customers and producers

	Customer	Producer	Service Category
<i>AERONAUTICAL SERVICES</i>			
Terminal Air Traffic Control Services (pure infra)			
• maintenance and development of equipment,	AL	IM	I
• approach control services and	AL	IM	I
• tower control services.	AL	IM	I
Manoeuvring Area Services (pure infra)			
• maintenance and development of runways and taxiways,	AL	IM	I
• cleaning and prevention of the slippery condition,	AL	IM	I
• guidance systems of air and ground traffic,	AL	IM	I
• environmental protection and	OS	IM	I
• security and fire services of manoeuvring area.	AL	IM	I
Apron Area Services (mainly infra)			
• maintenance and development of apron area and machinery,	AL	IM	I
• aircraft parking,	AL	IM	I
• aircraft handling,	AL	AL	O
• bus transportation,	AL	IM	I
• environmental protection,	AL	IM	I
• security and fire services of apron area and	AL	IM	I
• control of vehicle traffic operations and safety.			
<i>NON-AERONAUTICAL SERVICES</i>			
Passenger services (partly infra)			
• maintenance and development of air terminals,	AP,AL,OC	IM	I,C,O
• check-in and gate services,	AP	AL	I,O
• passport check and customs services,	AP	IM,PS	P?
• guidance and information services,	AP,OC	IM	I,C,O
• baggage handling, delivery and trolley service,	AP	IM,AL	I
• security services.	AP	IM	I
Cargo services (partly infra)			
• maintenance and development of cargo terminals,	AL,OE	AL,OE	O
• freight handling services,	AL,OE	AL,OE	O
• mail handling services and	AL,OE	AL,OE	O
• customs services.	AL,OE	PS	P?
Commercial services (no infra)			
• shops, cafés, restaurants and kiosks,	AP,OC	IM,OE	C
• tax free shops,	AP	IM,OE	C
• hotels,	AP,OC	OE	C
• posts and banks,	AP,OC	OE	C
• auxiliary services (e.g. car rental),	AP,OC	OE	C
• conference rooms and	AP,OC	IM	C
• VIP-services together with advertising and media services.	AP,OC	IM	C
Ground transport services (partly infra)			
• development and maintenance of terminal land side exit and entry roads,	AP,OC,OE	IM	I
• parking services,	AP,OC	IM,OE	I
• taxi and public transport services and	AP,OC	OE	O
• car rental.	AP,OC	OE	C

Tabell 1 (forts.)

Customers: AL = Airlines, AP = Air passengers, OC = Other customers, OS = Other society.

Producers: IM = Infrastructure manager (airport), AL = Airlines, OE = Other enterprises, PS = Public sector.

Service Category: I = Infrastructure service, O = Transport operator service, C = Commercial service, P = Public sector service.

Source: JP-Transplan Ltd

12.2 Kommentarer till Vantaa-rapporten

Det finns några grundläggande delmoment i beräkningarna som kan ifrågasättas. Dessa kan hänföras dels till sambanden mellan arbetstimmar och trafikvolym, dels till beräkningen av kostnaden per arbetstimme.

12.2.1 Sambanden mellan arbetstimmar och trafikvolym

I rapportens beräkning av hur trafikvolymen påverkar antalet arbetstimmar förespråkas att trafikvolymen även för passagerarservicen mäts som antalet flygplansrörelser i stället för som antalet passagerare. Ett alternativ är att använda antalet rörelser som ett mått på volymen för alla kategorier av tjänster förutom passagerartjänsterna. Med ett dylikt betraktelsesätt kommer en ytterligare flygplansrörelse att generera ungefär en halv arbetstimme (0,46 arbetstimmar). En ytterligare passagerare genererar passagerartjänster motsvarande 0,01 arbetstimmar eller 36 sekunders extra arbetstid.

Med beaktande av argumenteringen i *avsnitt 11.5* finns det dessutom anledning att hävda att en ökning av bemanningen visserligen leder till ökade lönekostnader, men samtidigt minskar den förväntade kostnaden för att passagerare missar sin avgång eller orsakar en försenad avgång på grund av otillräcklig bemanning i terminalerna. Det betyder att den sanna marginalkostnaden skulle kunna vara lägre än den som estimerats i Vantaa-studien.

Dessutom finns det, särskilt för mindre flygplatser, anledning att beakta effekten av odelbarheter i produktionen.

12.2.2 Beräkning av kostnaden per arbetstimme

I studien utreds hur arbetskraftsinsatsen varierar med trafikvolymen på kort sikt. Därför exkluderas kostnaderna för "rents and municipal charges" som definitivt är fasta på kort sikt. Kostnaderna för central administration bör (benämnt *Internal costs* i rapporten) subtraheras från de relevanta kostnaderna, eftersom dessa inte heller anpassas till variationer i trafikvolymen på kort sikt. Av någon anledning har dock dessa kostnader inkluderats i beräkningarna för Vantaa flygplats. Om kostnaderna justeras för detta blir marginalkostnaden för ytterligare en arbetstimme EUR 34 i stället för EUR 38 som anges i rapporten på sidan 33. Det är dessutom möjligt att genomsnittsberäkningen i rapporten leder till en övervärdering av marginalkostnaden, eftersom det förefaller rimligt att

arbetsinsatsen främst anpassas till efterfrågan genom variation i arbetsinsats för sådana personalkategorier som har lägre än genomsnittlig lön.

12.3 Möjligheten att föra över resultaten till svenska flygplatser

Ett sätt att utnyttja de finska resultaten är att direkt tillämpa dem som om de vore giltiga för svenska förhållanden. Nedan görs en sådan beräkning där de finska beräkningarna justeras genom

- att kostnaden fördelas per landning i stället för per flygplansrörelse,
- att kostnaden fördelas per avresande passagerare i stället för per passagerare,
- att kostnaden per arbetstimme är lika med EUR 34 i stället för EUR 38,
- att en ytterligare flygplansrörelse genererar en halv arbetstimme och
- att en ytterligare passagerare genererar 36 sekunders extra arbetstid.

En beräkning under dessa förutsättningar ger en marginalkostnad på EUR 31 per landning och EUR 0,7 per avresande passagerare.

Frågan som uppkommer är dock huruvida det är realistiskt att överföra dessa resultat till svenska flygplatser. I den finska studien diskuteras möjligheten att generalisera resultaten. Det hävdas att exempelflygplatsens resultat kan överföras till ett brett urval av flygplatser av olika storlek. Det nämns inga explicita gränser för tillämpbarheten, men med hänvisning till Doganis (1996) verkar det rimligt att resultaten skulle kunna överföras till de svenska flygplatserna Arlanda, Landvetter och Sturup, medan resultaten inte är tillförlitliga för mindre flygplatser. Ett argument för att studien är generaliserbar till de ovannämnda svenska flygplatserna är att det i många sammanhang finns likheter mellan de nordiska länderna – inte minst vad gäller klimat och behovet av snöröjning. Det hävdas också i Vantaa-studien att sambandet mellan antalet arbetstimmar och trafikvolymen är mer generellt än genomsnittskostnaden för en arbetstimme. Därför skulle man antagligen få en mer korrekt skattning av marginalkostnaden genom att använda svenska data för timkostnaden. Det kan dock vara svårt att få tillgång till dylik data, då incheckning, bagagehantering och gate-kontroll för de relevanta flygplatserna utförs av från Luftfartsverket fristående bolag.

Det finns dock ett antal argument som talar emot att marginalkostnaderna skulle vara enkelt överförbara. Om man t.ex. jämför Arlanda med London-Gatwick, framgår det att London-Gatwick med en rullbana lyckas befördra nästan dubbelt så många passagerare som Arlanda med två rullbanor. Den viktigaste anledningen är att London Gatwick har en stor andel interkontinental trafik med stora flygplan, medan Arlanda har en stor andel regionalflyg med små flygplan. Vidare kan andelen inrikes- respektive utrikespassagerare påverka marginalkostnadens storlek, liksom skillnader i klimatförhållanden. Kostnaderna för snöröjning och uppvärmning skiljer sig naturligtvis mellan exempelvis Malmö-Sturup och Kiruna, vilket är ytterligare en aspekt som man behöver ta hänsyn till.

12.4 Behov av ytterligare studier

En kompletterande studie skulle kunna vara värdefull för vissa av de kostnadskategorier som *inte* ingår i Vantaa-studien för att utröna i hur stor utsträckning marginalkostnaden skiljer sig från genomsnittskostnaden. De mest intressanta kategorierna härvidlag är troligen

- Guidance and information services,
- Passport check and customs services,
- Aircraft handling och
- Taxi and public transport services and car rental.

Med tanke på den relativt vida definitionen av infrastrukturen som gjorts i rapporten finns det ingen uppenbar anledning att exkludera *Guidance and information services*. *Passport check and customs services* ingår inte i rapporten, vilket kan vara rimligt. Eftersom polis respektive tullmyndighet har ansvaret för dessa tjänster, kan man hävda att dessa inte hör till flygplatsens egentliga infrastruktur. Å andra sidan skulle man kunna hävda att dessa tjänster är nödvändiga förutsättningar för flygtrafik och att en marknad inte skulle kunna tillhandahålla dessa tjänster på ett effektivt sätt. Därmed skulle tjänsterna enligt definitionen i *avsnitt 4.1* kunna hänföras till infrastrukturen. Frågan är både ekonomisk-teoretisk och politisk. Inom ramen för detta uppdrag har det inte funnits möjlighet att utreda frågan. Bland övriga tjänster förefaller det rimligt att inkludera *Aircraft handling*, eftersom övrig marktjänst såsom check-in, ombordstigning och bagagehantering ingår. Man skulle även med liknande argument kunna hävda att *Taxi and public transport services and car rental* borde inkluderas.

Idealiskt borde en motsvarande studie genomföras för Sverige, men med tanke på kostnaderna som är förknippade med en dylik studie, är det med nuvarande ekonomiska situation för Luftfartsverket knappast realistiskt på kort sikt. I en sådan studie borde dock ytterligare några kostnadskategorier finnas med för att ge en fullständig bild av marginalkostnaderna för infrastrukturen.

12.5 Referenser

Doganis, R. (1996), *The Airport Business*, Routledge, London.

Himanen, V., Idstrom, T., Gobel, A., Link, H. (2002), *Infrastructure Costs Case Studies - Helsinki-Vantaa Airport Case Study*, Annex 5e to UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Deliverable 10. Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds, February 2002.

APPENDIX 6: BORTTAGNING AV GUMMIBELÄGGNING PÅ BANOR OCH RAMPER

Föregående års marginalkostnadsrapport (LFV 2000-5748-051) innehöll en mindre studie av det volymberoende slitaget på rullbanor för ett urval av Luftfartsverkets flygplatser. Studien var empirisk och jämförde antalet år mellan banornas omtoppning med trafikvolymen. Eftersom inget signifikant samband kunde iakttas, var slutsatsen att trafikvolymen på de svenska flygplatserna är för låg för att generera ett slitage som är mätbart med den använda metoden. Det bör noteras att Arlanda inte kunde ingå i studien, eftersom banorna där haft betongbeläggning. En fråga som inte berördes i den föregående rapporten var de gummibeläggningar som uppkommer på banor och ramper till följd av gummiavsättningar från flygplanens däck. I den här rapporten redovisas en grov skattning av de slitagekostnader som härrör från gummiavsättningar

Gummi från flygplanens däck avsätts särskilt kring landningens sättningspunkt. Gummibeläggningen som bildas på banan minskar friktionen och banor med mycket trafik, och därigenom mer omfattande gummiavsättningar, måste därför rengöras från gummi. Detta arbete kan utföras på åtminstone tre olika sätt: genom mekanisk borstning, konventionell högtryckstvätt eller s.k. ultrahögtryckstvätt. I en förstudierapport om gummiborttagning (LFV 2000-1246-078) har livscykelberäkningar gjorts för kostnaderna att använda de tre ovannämnda rengöringsmetoderna. Beräkningarna redovisas i tabellen nedan och visar att det är förhållandevis stora kostnadsskillnader mellan de olika metoderna. Den fjärde metoden (Entreprenad) visar kostnaden per kvadratmeter för att köpa in rengöringstjänsten från extern entreprenör.

Tabell 1: Kostnader för olika rengöringsmetoder (2000 års prisnivå)

	Ultrahög- tryckstvätt	Högtrycks- tvätt	Mekanisk Borstning	Entreprenad
Rengörings- kostnad (kr/kvadratmeter)	5,8	3,4	9,8	11,0

Förutom skillnaderna i kostnader finns betydande skillnader i kvalitet mellan de olika metoderna. Rengöringsmetoderna är olika effektiva, men det finns också skillnader i hur stor åverkan rengöringen gör på beläggningen.

Rengöringsbehovet skiljer sig också mellan olika flygplatser. Här är det svårare att uppskatta skillnaderna med någon större tillförlitlighet, men de svenska flygplatserna har delats in i tre kategorier. De flygplatser som är mindre än Sturup har inte bedömts ha något särskilt behov av gummiborttagning. Detta beror på att trafikvolymen är lägre, men även på att den ordinarie snöröjningen bidrar till att ta bort en del av gummiavsättningarna. Flygplatserna Sturup (ca 25 000 landningar per år) och Landvetter (ca 35 000 landningar per år) har räknats till en

mellankategori av flygplatser, medan Arlanda bildar en egen kategori (ca 140 000 landningar per år). Det bedömda rengöringsbehovet framgår av nedanstående tabell, där Arlandas rengöringsbehov bedömts vara tre gånger större än behovet för Sturup och Landvetter.

Tabell 2: Bedömt rengöringsbehov

	Rengöring Av sättnings- zoner (m²/år)	Rampyte- rengöring (m²/år)	Rengöring av övriga banytor (m²/år)	Linjebort- tagning (h/år)
Mindre Flygplatser	-	-	-	-
Sturup och Landvetter	20 000	50 000	20 000	40
Arlanda	60 000	150 000	150 000	120

Rengöringskostnaderna för rampytor och övriga banytor kan genom ökad rengöringshastighet reduceras med ca 50 procent jämfört med gummiborttagning i sättningszonerna. Linjeborttagning kostar med ultrahögtryckstvätt ca 2 700 kronor per timme och med högtryckstvätt ca 1 800 kronor per timme. Däremot kan inte linjeborttagning genomföras med mekanisk borstning.

Den totala kostnaden per år för gummiborttagning kan med utgångspunkt från uppgifterna ovan beräknas och därefter fördelas per landning. Resultatet av en dylik beräkning framgår av nedanstående tabell. För det första kan man konstatera att kostnaderna uttryckt i 2000 års priser varierar från 6,60 kronor till 24,20 kronor per landning. Osäkerheten är således stor. Dessutom är det tveksamt att fördela kostnaden per landning på det sätt som gjorts nedan, eftersom flygplanens storlek har stor betydelse för hur mycket gummi som avsätts på banorna.

Tabell 3: Genomsnittlig kostnad per landning för gummiborttagning

		Rengöring av sättnings- zoner (kr/landn)	Rampyte- rengöring (kr/landn)	Rengöring av övriga banytor (kr/landn)	Linjebort- tagning (kr/landn)	Totalt (kr/landn)
Mindre flygplatser		-	-	-	-	-
Sturup	<i>ultrahögtryckstvätt</i>	4,6	5,8	2,3	4,3	17,1
	<i>högtryckstvätt</i>	2,7	3,4	1,4	2,9	10,4
	<i>mekanisk borstning</i>	7,8	9,8	3,9	-	21,6
	<i>entreprenad</i>	8,8	11,0	4,4	-	24,2
Landvetter	<i>ultrahögtryckstvätt</i>	3,3	4,1	1,7	3,1	12,2
	<i>högtryckstvätt</i>	1,9	2,4	1,0	2,1	7,4
	<i>mekanisk borstning</i>	5,6	7,0	2,8	-	15,4
	<i>entreprenad</i>	6,3	7,9	3,1	-	17,3
Arlanda	<i>ultrahögtryckstvätt</i>	2,5	3,1	3,1	2,3	11,0
	<i>högtryckstvätt</i>	1,5	1,8	1,8	1,5	6,6
	<i>mekanisk borstning</i>	4,2	5,3	5,3	-	14,7
	<i>entreprenad</i>	4,7	5,9	5,9	-	16,5

13.1

Referenser

Luftfartsverket (2000), *Fortsatt förstudierapport gummiborttagning* (LFV 2000-1246-078)