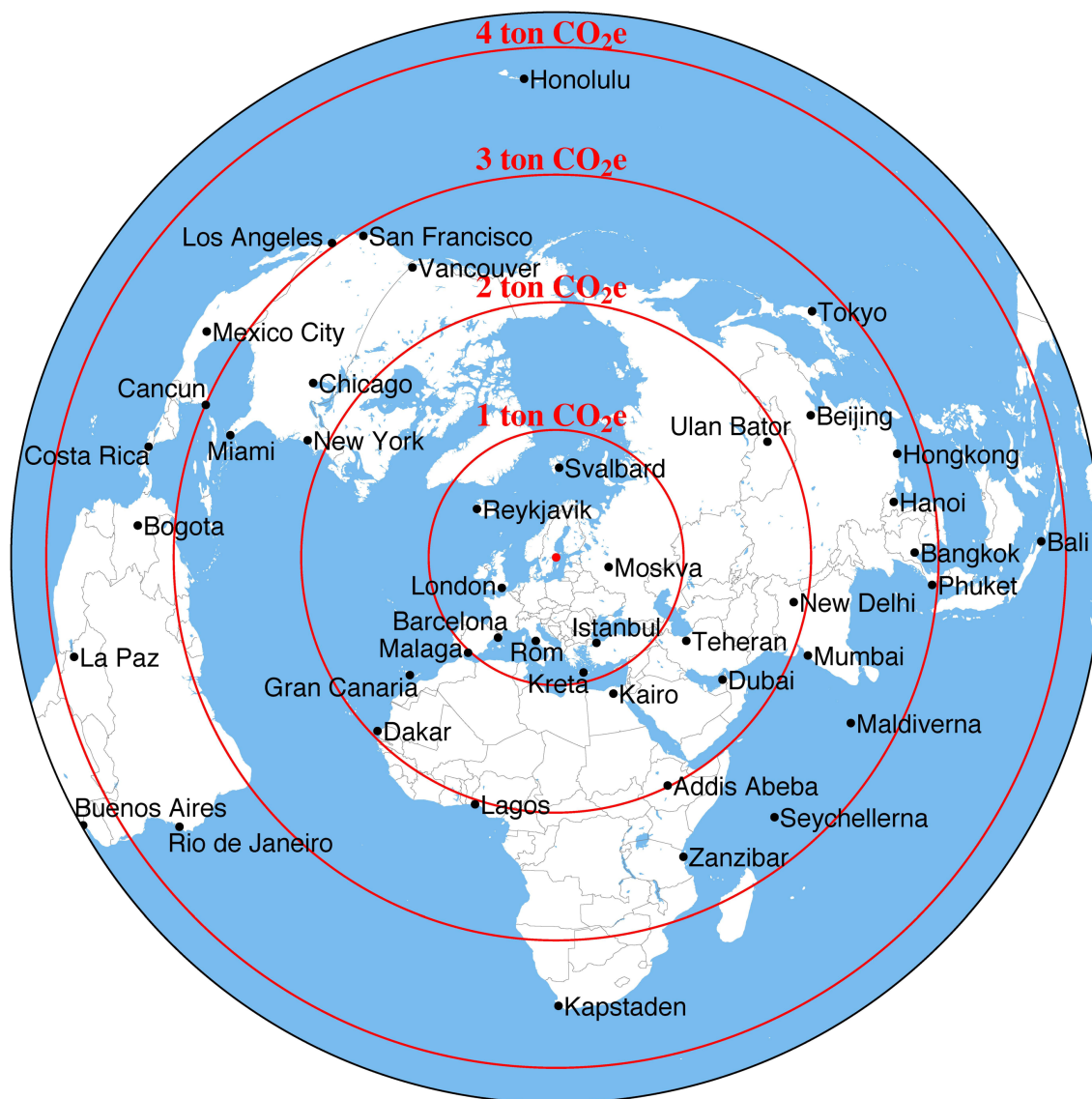




Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990 – 2017

Anneli Kamb och Jörgen Larsson

Förord

2016 publicerade vi rapporten "Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990 – 2014". Intresset för den här frågan är mycket stort och Naturvårdsverket gav oss i uppdrag att ta fram siffror fram till 2017 och att vidareutveckla metodiken. Arbetet bakom denna rapport har finansierats av Naturvårdsverket. Jonas Allerup har varit vår kontaktperson på Naturvårdsverket.

En rad organisationer har på olika sätt bidragit till arbetet. Swedavia har bl.a. frikostigt delat med sig av data från sin omfattande kundundersökning, vilket även Avinor i Norge och Copenhagen Airports i Danmark har gjort.

Jonas Åkerman på KTH har agerat kvalitetsgranskare av rapporten. Vi har också fått konstruktiva synpunkter från många forskarkollegor på Chalmers, bl.a. Christian Azar, Anna Elofsson, Jonas Nässén och Björn von Sydow. Vi vill speciellt nämna Daniel Johansson som har faktagranskat texten om den så kallade "höghöjdseffekten". Avslutningsvis vill vi tacka för den återkoppling vi har fått från vår referensgrupp inom flygbranschen på ett utkast av denna rapport.

Detta är en reviderad version från februari 2019 där avsnitt 4.3 har korrigerats. En engelsk version av denna rapport publicerades under 2019 med titeln "Climate footprint from Swedish residents' air travel" (Kamb & Larsson, 2019).

Framsida: Bilden på framsidan avser växthusgasutsläpp inklusive så kallade "höghöjdseffekter" för tur-och-retur-resor från Stockholm. Figuren är baserad på 170 g CO₂-ekvivalenter per person-km. Bilden är gjord av Björn von Sydow, Chalmers.

Sammanfattning

Luftfartens klimatpåverkan är stor för rika länder som Sverige. Det etablerade uppföljningsmåttet bygger på hur mycket flygplanen tankar i respektive land (bunkring) och återspeglar därför enbart utsläppen till första mellanlandning. Vi har därför tidigare utvecklat en kompletterande indikator som omfattar utsläppen från hela resan till slutdestinationen och även inkluderat de så kallade höghöjdseffekterna. I denna rapport har vi förfinat metoden utifrån data från Swedavia och analyserat utvecklingen mellan 1990 och 2017.

Antalet resor per person har ökat kraftigt. Inrikesresorna har inte ökat men utrikesresorna har fördubblats från 0,5 resor per person och år 1990 till 1,0 resor per person år 2017, en årlig ökning med 2,9 %.

Medelavståndet har dock inte ökat nämnvärt under tidsperioden eftersom både de korta och de långa resorna har ökat i antal. Medelavståndet för en utrikesresa är cirka 2700 km för en enkelresa vilket ungefär motsvarar sträckan Stockholm - Madrid.

Utsläpp per person-km har minskat med i genomsnitt 1,9 % per år. År 2017 var utsläppen 90 gram koldioxid per person-km, och om den så kallade höghöjdseffekten inkluderas beräknas utsläppen till 170 gram CO₂-ekvivalenter per person-km. Som jämförelse är utsläppen från långväga resande med bil drygt 50 gram per person-km, då det i medeltal är tre i bilen i långväga resor.

De totala utsläppen från svenska invånares flygresande var 10 miljoner ton CO₂-ekvivalenter år 2017. De totala utsläppen från svenska invånares flygresor har ökat med 47 % sedan 1990. Utsläppen från inrikesresorna minskar och står nu för 7 % av utsläppen. Utsläppen från utrikesresorna har ökat och står idag för 93 % av utsläppen. Den stora utsläppsökningen skedde under 90-talet, därefter har utsläppen från svenska invånares flygresor legat kvar på samma nivå då utsläppsminskningen per person-km har varit likvärdig med ökningen i antalet person-km.

Klimatpåverkan från den svenska befolkningens flygande är nu ungefär lika stor som från personbilstrafiken. Flygutsläppen per år är i snitt cirka 1,1 ton CO₂-ekvivalenter per svensk invånare vilket är ungefär fem gånger högre än det globala genomsnittet.

För att ha en god chans att begränsa uppvärmningen till två grader behöver de globala koldioxidutsläppen snabbt vända neråt för att på sikt upphöra helt (netto noll).

English summary

Greenhouse gas emissions from air-travel is substantial for high-income countries like Sweden. The established accounting methodology for aviation, which is reported to the UNFCCC, is based on how much the aircrafts are fueling in each country (so called bunkering). We have developed a complementary indicator that includes emissions from the whole air-trip to the final destinations as well as the non-CO₂ effects (Larsson et al., 2018). In this report we have refined the method based on data from the Swedish airport operator, Swedavia, and analyzed the development between 1990 and 2017.

The number of trips per person has increased dramatically. Domestic air travel has not increased but international trips have doubled from 0.5 trips per person and year in 1990 to 1.0 trips per person in 2017, a yearly increase by 2.9%.

The average distance to the final destination has not increased much during the period since the number of both short and long trips have increased. The average distance is about 2700 km for a one-way trip which is similar to the distance between Stockholm and Madrid.

Emissions per person-km has decreased by 1.9% per year on average. In 2017 the emissions were 90 grams CO₂ per person-km, and if the non-CO₂-effects are included the emissions are estimated to 170 grams CO₂-eq. As a comparison the emissions from long-distance travel by car is about 50 grams per person-km, based on the average number of persons in each car on long-distance trips (3 persons).

The total emissions from the air-travel of Swedish citizens was 10 million ton CO₂-eq. in 2017, an increase by 47% since 1990. Emissions from domestic aviation is decreasing and now accounts for only 7% of the emissions. The emissions from international trips have increased and now accounts for 93% of the emissions. The emissions increase took place during the 90s. After year 2000 the emissions have been on the same level due to that the emission decrease per person-km have been on par with the increase in person-km.

The greenhouse gas emissions from Swedish inhabitants' air travel is now about equivalent to the Swedish emissions from car use. The annual emissions from air travel are now about 1.1-ton CO₂-eqv. per Swedish inhabitant which is about five times higher than the global average.

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION.....	7
2	HÖGHÖJDSEFFEKTER	8
3	METOD OCH DATAUNDERLAG FOR SVERIGE 1990 – 2017	10
3.1	ÖVERGRIPANDE METODVAL.....	10
3.2	ANTAL RESOR	11
3.3	MEDELAVSTÅND.....	11
3.4	UTSLÄPP PER PERSON-KM.....	12
3.5	UTSLÄPP FRÅN INRIKESRESOR	13
4	RESULTAT: SVENSKA BEFOLKNINGENS FLYGRESOR 1990-2017	13
4.1	ANTAL RESOR	13
4.2	MEDELAVSTÅND.....	15
4.3	ANTAL PERSON-KM.....	16
4.4	UTSLÄPP PER PERSON-KM.....	16
4.5	UTSLÄPP FRÅN SVENSKA BEFOLKNINGENS FLYGRESOR	18
APPENDIX A	: UTSLÄPP PER PERSON-KM.....	21
APPENDIX B	: FRAMTIDA UPPFÖLJNING.....	23
B.1	ANTAL RESOR	23
B.1.1	<i>Medelavstånd och mellanlandningar</i>	<i>23</i>
B.1.2	<i>Swedavias data.....</i>	<i>24</i>
B.1.3	<i>Tillväxtverkets data från Resurs AB och SCB.....</i>	<i>24</i>
B.1.4	<i>Ökat medelavstånd pga. mellanlandningar.....</i>	<i>25</i>
B.2	UTSLÄPP PER PERSON-KM, HÖGHÖJDSEFFEKTER OCH BIOBRÄNSLE	25
B.3	LIVSCYKELPERSPEKTIV PÅ FLYGUTSLÄPP	25
5	REFERENSER.....	27
6	SLUTKOMMENTARER	31

1 Introduktion

Vid klimatmötet i Paris 2015 fastställdes det globala målet att hålla temperaturhöjningen väl under 2° C jämfört med förindustriella nivåer. För att ha en rimlig chans att nå detta mål kommer det krävas ett offensivt klimatarbete i princip i alla sektorer i alla länder. Under 2010 stod den globala luftfarten för 2,6 % av alla energirelaterade CO₂-utsläpp (IPCC, 2014, p. 603 och 646) och utsläppen från luftfarten har ökat med 40 % mellan 1990 och 2010 (IPCC, 2014). Utöver utsläppen av CO₂ uppstår en nästan lika stor klimatpåverkan från icke-CO₂-effekter (som ofta kallas för höghöjdseffekter), som uppstår på grund av bl.a. utsläpp av kväveoxider, kondensstrimmor och cirrusmoln på hög höjd (se vidare i avsnitt 2) (Azar & Johansson, 2012; Lee et al., 2010). Det finns osäkerhet om hur stora dessa icke-CO₂-effekter är, men när de bästa vetenskapliga uppskattningarna används motsvarar de totala utsläppen av växthusgaser från luftfarten cirka 4–5% av de totala globala utsläppen.

Utsläppen av växthusgaser från den globala luftfarten fortsätter att öka, eftersom flygvolymer ökar snabbare än tekniska och organisatoriska effektiviseringar (Larsson et al., 2018). Exempelvis ökade antalet passagerare globalt med 60 % mellan 2008 och 2017 (ICAO, 2018). Antalet flygpassagerare förväntas öka med 4 % per år de kommande 20 åren enligt International Air Transport Association (IATA, 2015a) och International Civil Aviation Organization (ICAO). Om detta inträffar, och om landbaserade utsläpp följer en utsläppsbana som ligger i linje med 2°C målet, kan utsläppen från internationell luftfart komma att motsvara över 20 % av de globala CO₂-utsläppen 2050 (Cames et al., 2015).

För att minska risken att luftfarten ska äventyra de globala klimatmålen så bör starkare styrmedel övervägas. Sverige införde den 1 april 2018 en flygskatt och flygbranschen har kommit med en färdplan med målet att inrikes luftfart ska bli fossilfritt till 2030 (Swedish Air Transport Society, 2018). Regeringen har också en pågående utredning om hur luftfartens användning av biobränsle kan främjas (Regeringen, 2018). Eftersom en stor del av det globala flygresandet är internationellt, ca 65 % av bränsleförbrukningen används för internationellt flyg (ICAO, 2016a), och på grund av den globala karaktären hos flygindustrin, finns behov av internationella styrmedel. Sedan 2012 är luftfarten inom EU (inkl. inrikesflyg) med i EU:s handelssystem för utsläppsrätter (EU, 2017). ICAO beslutade 2016 att införa ett system kallat "Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation" (CORSIA), som föreskriver att flygbolagen är skyldiga att kompensera sina utsläppsökningar efter 2020 genom att köpa krediter från projekt som minskar utsläppen utanför luftfartssektorn (ICAO, 2016b). Även om CORSIA skulle fungera perfekt skulle det fortfarande bara delvis kompensera den förväntade ökningen av växthusgasutsläppen eftersom icke-CO₂-effekter inte ingår. Dessutom är additionaliteten när det gäller klimatkompensationsprojekt ofta ifrågasatt (Anderson & Bernauer, 2016; Becken & Mackey, 2017). För vidare läsning om befintliga och möjliga styrmedel inom flygsektorn hänvisar vi till våra tidigare analyser (Åkerman et al., 2016; Larsson et al., 2019), miljömålsberedningen (Miljömålsberedningen, 2016, pp. 395-402) samt en rapport från Stockholm Environmental Institute (Axelsson et al., 2018).

Dagens etablerade uppföljningssystem för utsläpp från luftfarten är resultatet av internationella förhandlingar. Länder kan antingen göra beräkningar baserat på hur mycket som tankas (s.k. bunkring) eller genom modellberäkningar med olika detaljnivå (IPCC, 2006). Sverige beräknar CO₂-utsläppen med den så kallade "Tier 2-metoden" baserat på mängden sålt bränsle och med

viss modellering. Det är dessa siffror (uppdelade på inrikes och utrikes) som rapporteras till FN (Naturvårdsverket, 2018b). Utsläpp från inrikes luftfart ingår i rapporteringen av de nationella växthusgasutsläppen till FN:s ramkonvention om klimatförändringar (UNFCCC), men utsläppen från internationell luftfart (och sjöfart) tillfaller inte något land. Enligt Kyotoprotokollet kan utsläppen från internationell luftfart (och sjöfart) istället redovisas separat till UNFCCC (IPCC, 2006; Wood et al., 2010). För inrikesresor ger detta uppföljningssystem en relativt heltäckande och rimlig bild men för utrikesresor så är "bunkringsmättet" problematiskt på flera olika sätt:

- Mättet omfattar endast utsläpp från Sverige till första transitflygplats. Detta gör att huvuddelen av många långresors klimatpåverkan inte omfattas i den svenska statistiken. Därmed ger inte systemet en bra bild av utsläppen från den egna befolkningens flygresande.
- Allokeringen gör att länder med stora transitflygplatser (t.ex. Nederländerna) tillskrivs höga utsläpp medan andra länder får låga utsläpp (t.ex. Sverige). Eftersom transitflygplatser är viktiga inkomstkällor för länder så fungerar inte detta mått som incitament för att få dessa länder att minska utsläppen.
- När ett land får fler direkta flygförbindelser till destinationer i andra länder så visar "bunkringsmättet" normalt sett ökande utsläpp även om de absoluta globala utsläppen i praktiken minskar eftersom det blir mindre omvägar och färre starter pga. mellanlandningar.
- Systemet omfattar bara koldioxidutsläpp och inte luftfartens övriga klimatpåverkan, ofta kallad för höghöjdseffekten (se vidare i avsnitt 2).

Dessa problem innebär att "bunkringsmättet", som rapporteras till FN, inte som ensamt mått ger en tillräckligt bra bild av omfattningen av flygets klimatpåverkan. Som en jämförelse så redovisar Luxemburg inga utsläpp från internationellt flyg, medan Nederländerna redovisar 65% högre flygutsläpp per person än Sverige, och detta trots liknande BNP-nivåer för dessa tre länder (UNFCCC, 2018).

Syftet med den här rapporten är att vidareutveckla den kompletterande indikator som utvecklades under 2016 och som återspeglar de totala växthusgasutsläppenⁱ från den svenska befolkningens flygresor (Kamb et al., 2016; Larsson et al., 2018), och att tillämpa detta för perioden 1990 – 2017. Detta är viktigt för att bidra till en ökad kunskap om flygresornas totala klimatpåverkan och hur de utvecklas över tid. Denna typ av uppföljning är också relevant som komplement till "bunkringsmättet" för att följa upp effekterna av olika styrmedel.

Uppföljningssystem som är känsliga för effekter av styrmedlet är nödvändiga för att kunna följa utvecklingen över tid (Gössling et al., 2016; Kander et al., 2015). Bunkringsmättet för inrikesflyg är väl lämpat för att följa upp effekterna av till exempel en ökad användning av biobränsle. Den kompletterande indikatorn för befolkningens totala flygutsläpp är väl lämpat för att följa upp styrmedel som t.ex. främjar val av närmre destinationer och val av transportmedel som orsakar lägre utsläpp än flygⁱⁱ.

2 Höghöjdseffekter

När det gäller luftfartens klimatpåverkan så finns det ett flertal effekter utöver själva CO₂-utsläppen. Dessa kan förenklat kallas för höghöjdseffekter då de i huvudsak uppstår vid flygning

över ca 8000 meter (Köhler et al., 2008; Rädcl & Shine, 2008). Det handlar exempelvis om utsläpp av kväveoxider och de kondensstrimmor som bildas när varma och vattenrika avgaser från flygplanen möter den omgivande kalla luften och bildar ispartiklar (Azar & Johansson, 2012; Boucher et al., 2013; ICAO, 2013; IPCC, 2014; Lee et al., 2010). Under vissa förutsättningar kan dessa kondensstrimmor bli ihållande och stanna kvar under flera timmar, i andra fall försvinner de på några minuter. Vidare kan luftfartens utsläpp orsaka ökad uppkomst av höga cirrusmoln, delvis genom att de ihållande kondensstrimmorna utvecklas till cirrusmoln som har en effekt under något dygn (Lee et al., 2010). Dessa klimateffekter har kort livslängd jämfört med CO₂ som påverkar klimatet i tusentals år (Joos et al., 2013), men kan å andra sidan vara tusentals gånger starkare under den tid de varar. Osäkerheten i uppskattningen av klimateffekten från kondensstrimmor har minskat över tid, medan osäkerheten i uppskattningen av klimateffekten från flyginducerade cirrusmoln är fortsatt stor (Kärcher, 2018).

Vidare har utsläpp av aerosoler, främst sot och sulfat, en effekt på klimatet. Effekten av aerosoler är mycket osäker och olika studier ger olika resultat beroende på modellantaganden; exempelvis en kylande effekt på 46 mW/m² (Chen & Gettelman, 2016; Gettelman & Chen, 2013) till en värmande effekt på 90 mW/m² (Zhou & Penner, 2014). Osäkerheten i dessa modeller är fortsatt stor på grund av att resultaten är starkt beroende av antaganden om aerosolernas roll i molnprocesserna (Chen & Gettelman, 2016). Det råder samtidigt en stor avsaknad av observationer av effekter på molnformation från utsläpp av aerosoler, vilket gör det utmanande att minska den vetenskapliga osäkerheten (Kärcher, 2018).

Det finns alltså en osäkerhet om hur stora dessa olika höghöjdseffekter är, och den vetenskapliga förståelsen är olika stor för de olika mekanismerna av höghöjdseffekten. Vi gör ingen egen värdering av det vetenskapliga läget på det här området utan lutar oss mot den samlade bedömning som FN:s klimatpanel IPCC gjorde i sin senaste rapport (Boucher et al., 2013). IPCC lyfter fram att icke obetydliga höghöjdseffekter existerar och de pekar på att ihållande kondensstrimmor under 2011 bidrog till uppvärmningen genom en "Radiative Forcing" ⁱⁱⁱ på +0,01 W/m² (medel konfidensnivå). Vidare bedöms kombinationen av kondensstrimmor och moln från kondensstrimmor bidra med "Effective Radiative Forcing" ^{iv} på +0,05 W/m² (låg konfidensnivå). (Boucher et al., 2013; Myhre et al., 2013)

Även om osäkerheten är stor kring höghöjdseffekterna så är det inte någon tvekan om att icke obetydliga sådana existerar. Enligt senaste IPCC rapporten är de sannolikt positiva, men det finns senare studier som pekar på att den kan vara positiva och större än vad IPCC angav, samtidigt som det finns enstaka senare studier som pekar på att de kan vara negativa, dvs. ha en kylande effekt. Det vetenskapliga läget är mycket osäkert, men vi bedömer att det rimligaste är att lägga sig linje med den senaste IPCC rapport (AR5) och inkludera dessa effekter. För att göra detta måste ett lämpligt mått väljas som tar hänsyn till de olika tidshorisonterna för CO₂ jämfört med höghöjdseffekterna. IPCC uppger ingen rekommendation här för flygutsläpp. Inom FN-systemet används generellt GWP100^v för de gaser som inkluderas i de förhandlingarna^{vi} (UNFCCC, 2014). Vi använder den mest etablerade vetenskapliga uppskattningen och den är, mätt med GWP100, att den samlade klimateffekten är ca 1,9 gånger högre än påverkan från endast CO₂-utsläpp (här ingår bl.a. effekter av kondensstrimmor och cirrusmoln) (Lee et al., 2010). Denna höghöjdsfaktor ligger också nära den bedömning som Azar och Johansson (2012) har gjort och den ligger i linje med rekommendationen från en bedömning av en mängd olika vetenskapliga analyser (Jungbluth, 2013). Denna uppskattning överensstämmer också med vad

både Naturvårdsverket (2018a) och Transportstyrelsen uppger (2018a), samt den brittiska regeringens riktlinjer för företags rapportering av växthusgaser (Hill et al., 2016).

Hur stor höghöjdseffekten är för en specifik flygresor varierar mycket bland annat beroende på väderförhållanden och kan vara både högre och lägre än uppräkningsfaktorn på 1,9. Uppräkningsfaktor på 1,9 troligen är en överskattning för kortare resor (Fichter et al., 2005; Trafikanalys, 2016), men samtidigt även en underskattning för längre resor. Att 1,9 är en överskattning för inrikesresor beror dels på att flygplanen inte kommer upp till, eller tillbringar en liten andel av flygtiden, på tillräckligt hög höjd, dels på att det för inrikes används en del turbopropflygplan, som inte når tillräcklig höjd för att dessa effekter ska uppstå. Österström (2016) har uppskattat att det är rimligt med en uppräkningsfaktor för inrikes luftfart som är knappt hälften så hög som det globala snittet. Österström (2016) räknar med en genomsnittlig höghöjdsfaktor på 1,7 och en faktor på 1,3 för inrikes luftfart. Dessa siffror används i utredningen om en svensk flygskatt (SOU 2016:83). I denna rapport används 1,9 för utrikesflyg, som är den mest etablerade vetenskapliga uppskattningen (Lee et al 2010), medan 1,4 används för inrikesflyg.

Höghöjdseffekterna kan minskas genom exempelvis ändrade flygvägar men det är en komplex fråga då det samtidigt kan medföra ökning av koldioxidutsläppen. Frågan om strategier för att minska höghöjdseffekter ligger utanför ramen för denna rapport.

3 Metod och dataunderlag för Sverige 1990 – 2017

3.1 Övergripande metodval

När det gäller metoder som kan utgöra komplement till bunkringsstatistiken så finns det framförallt två alternativ; invånarperspektivet och konsumtionsperspektivet. Allokering baserat på invånarland har identifierats som ett alternativ av UNFCCC för uppföljning av utrikesresor (UNFCCC, 1996a). Alternativet med allokering till slutkonsumenten är den metod som används i konsumtionsbaserade analyser, som Naturvårdsverket var tidiga med att publicera (Naturvårdsverket, 2008).

Invånarperspektivet innebär att utsläppen allokeras till det land som passageraren bor i, konsumtionsperspektivet innebär istället att utsläppen tillskrivs det land som slutkonsumenten bor i. När det gäller flygresor som utförs i privata syften (semester, besöka släkt/vänner etc.) blir det ingen skillnad mellan dessa två alternativ, men för resor i tjänsten innebär de olika allokering. Med ett invånarperspektiv så är det Sverige som tillskrivs utsläppen även för tjänsteresor, men med ett konsumtionsperspektiv tillskrivs utsläppen det land där konsumenten av produkten/tjänsten bor. Om t.ex. en anställd som arbetar på Volvo i Sverige flyger till en konferens så ska utsläppen från denna resa fördelas på de länder där köparna av Volvos bilar bor.

Två aspekter för att välja mellan ett konsumtionsperspektiv och ett invånarperspektiv är datatillgång och datasäkerhet. När det gäller alternativet allokering till slutkonsumenten används så kallade "miljöexpanderade input-output modeller". Denna metod används flitigt och utvecklas kontinuerligt. I dagsläget kan den till exempel användas för att ge en bild av hur den totala konsumtionens klimatpåverkan skiljer sig mellan olika länder. Att bryta ner siffrorna till specifika sektorer, t.ex. flyg, innebär dock större osäkerheter. En annan nackdel med konsumtionsperspektivet är att transparensen är relativt låg.

Invånarperspektivet prövades inte av UNFCCC på grund av brist på data (UNFCCC, 1996b), men senare har jämförelser mellan länder gjorts med BNP som en grov proxy (Velzen & Wit, 2000). För några år sedan publicerade Åkerman (2012) en mer tillförlitlig analys som bygger på resvaneundersökningar. I vår rapport från 2016 (Kamb et al., 2016) vidareutvecklades denna metod och resvaneundersökningarnas uppgifter om slutdestination har kompletterats med bl.a. årlig totalstatistik om antalet utrikespassagerare. Detta arbete finns också redovisat i en vetenskaplig artikel (Larsson et al., 2018). I samband med den här rapporten görs ytterligare förbättringar av uppföljningsmetoden. Vår bedömning är att datatillgången och datasäkerheten är bättre för invånarperspektivet än för konsumtionsperspektivet.

En annan viktig metodologisk aspekt är om endast direkta utsläpp ska tas med eller om utsläpp från hela livscykeln ska inkluderas. Fullständiga livscykelutsläpp (inklusive utsläpp från infrastruktur, produktion av flygplan och bränslen) kräver omfattande kartläggning och antaganden, vilket det i nuläget bedöms saknas tillförlitliga data för. Vidare täcks livscykelperspektivet metodologiskt redan i Statistiska centralbyråns analys av den totala konsumtionens klimatpåverkan (genom s.k. input-outputmetodik). Därför exkluderas dessa utsläpp i denna studie. Ett alternativ kunde vara att inkludera utsläpp från produktion av bränsle, men även dessa utsläpp exkluderas i denna studie (läs mer i Appendix B.3).

Nedan beskrivs vår metod där utsläppen av växthusgaser beräknas genom att multiplicera antalet utrikesresor som gjorts av landets invånare [passagerare] med det genomsnittliga avståndet per resa [km] och de genomsnittliga utsläppen per person-km [kg CO₂-ekv/pkm] för varje år. För mer detaljer om beräkningarna ladda ner excel-filen "Beräkningar - Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990 – 2017"^{vii}. I Appendix B beskrivs hur uppföljningsmetoden kan tillämpas årligen och hur den kan vidareutvecklas.

3.2 Antal resor

För att beräkna antalet resor som görs av en nations invånare behöver man passagerarstatistik från alla flygplatser i landet. Denna statistik täcker dock såväl landets invånare som utländska invånare så för att endast räkna med resor som gjorts av landets invånare så måste passagerarstatistiken anpassas. Dessutom, om det är sannolikt att invånarna använder flygplatser i andra länder som avreseflygplats för en internationell flygning, behövs samma statistik från dessa flygplatser.

I Sverige finns totalstatistik över ankommande och avgående utrikes- och inrikespassagerare till och från svenska flygplatser (Trafikanalys, 2018; Transportstyrelsen, 2016). Andelen passagerare som är bosatta i Sverige baseras på Swedavias passagerarundersökning^{viii} (Swedavia, 2016, 2018b) och svar skalas för att representera antalet avresande passagerare. Undersökningen har genomförts för olika år på olika flygplatser så en linjär anpassning eller medelvärde av befintliga data har använts för de år då data saknas.

Många svenska invånare bor relativt nära Kastrup i Danmark eller Gardemoen i Norge och använder dessa flygplatser som främsta internationell flygplats^x. För att inkludera dessa resor^x användes data från Kastrup (Copenhagen airport, 2018) och Gardemoen (Avinor, 2018).

3.3 Medelavstånd

För att beräkna det genomsnittliga avståndet för en utrikesresa behöver man veta var resan startar och var slutdestinationen är, inte bara den första destinationen utomlands. Antag en

internationell resa med flera mellanlandningar, t.ex. Kiruna - Stockholm - London - New York - Los Angeles. I denna rapport är det resan från Stockholm till Los Angeles som är relevant och som medelavståndet beräknas på.

Beräkningar av medelavstånd baseras främst på data från Swedavia. Data från Swedavia finns för 2010-2017 och är delvis baserade på total passagerarstatistik från Swedavias flygplatser (Swedavia, 2018c) och delvis på passagerarundersökningar baserade på 140 000 intervjuer årligen på Swedavias flygplatser (Swedavia, 2018a). För att fånga utvecklingen sedan 1990 så används även resvanedata från Tillväxtverket/Resurs AB för 1990 och 1991 (Resurs AB, 2014). Då jämförelser mellan data från Swedavia och Tillväxtverket/Resurs AB tyder på en överskattning av medelavståndet i datan från Tillväxtverket/Resurs AB så har en nedjustering av medelavståndet för 1990 och 1991 gjorts med 3.7 %, se vidare Appendix B.1.1.

Respektive datamängd innehåller avreseflygplats för utrikesresan samt slutdestination. Google Maps API, via Google Sheets Add-On *Geocode*^{xi}, användes för att hitta koordinaterna för varje flygplats och slutdestination. Avståndet mellan varje par beräknades sedan via det så kallade storcirkelavståndet^{xii}, som är det kortaste avståndet mellan de två punkterna^{xiii}. Extra avstånd på grund av mellanlandningar beaktas inte, vilket resulterar i en mindre underskattning. Läs mer om mellanlandningar i Appendix B.1.4.

Medelavståndet baserat på Tillväxtverkets data beräknades därefter baserat på antalet passagerare till respektive destination. Medelavståndet baserat på Swedavias data beräknas i två steg, först för svenska invånares direktresor och sedan för transferresor:

Direktresor – Medelavståndet för direktresor från svenska flygplatser har beräknats utifrån passagerarstatistiken viktat med andelen svenskar. Avståndet har även justerats för att räkna bort de resenärer som har en vidare transfer. Passagerarstatistiken innefattar samtliga passagerare som reser via Swedavias flygplatser (totalstatistik) och andelen svenskar, samt andelen som transfererar har tagits fram från passagerarundersökningen. På så sätt fångas resmönster som är unika för svenska resenärer jämfört med den genomsnittliga resenären.

Transferresor – Medelavståndet för de svenska resenärer som mellanlandar har beräknats enbart med data från Swedavias passagerarundersökning, där avreseflygplats och faktisk slutdestination har samlats in.

När ett medelavstånd för direktresor, och ett för transferresor, har beräknats så kan ett viktat medelavstånd beräknas för alla utlandsresor baserat på andelen som har minst en mellanlandning. Även denna siffra bygger på Swedavias resvaneundersökning. För de år då det saknas data har en linjär anpassning gjorts.

3.4 Utsläpp per person-km

Beräkningen av utsläpp per person-km för utrikesresor utgår från ett globalt genomsnitt. Då vi har funnit att de genomsnittliga utsläppen från flygplan som startar vid svenska flygplatser är lägre har vi valt att justera ned de globala siffrorna med 6 % för hela perioden (baseras på genomsnittlig skillnad mellan globala utsläpp och svenska utrikesflyg för perioden 1998 - 2015).

För att beräkna de genomsnittliga globala utsläppen per person-km behövs statistik över den globala bränsleförbrukningen och genomförda person-km, samt statistik över frakt-ton för att fördela utsläppen mellan gods och passagerare. Det globala genomsnittet grundar sig på data

över den globala bränsleförbrukningen inom luftfarten från International Energy Agency (IEA, 2018). Data för person-km och frakt hämtas från ICAO och IATA. För att justera ned siffrorna används den så kallade bunkringsstatistik för utrikes luftfart som Naturvårdsverket (2018d) publicerar och statistik avseende personkilometer från Transportstyrelsen (2018b). I Appendix A beskrivs beräkningen av utsläpp per person-km i detalj.

3.5 Utsläpp från inrikesresor

De delsteg som har beskrivits ovan används sedan för att beräkna utsläppen från den svenska befolkningens utrikesflygresor. För inrikesresorna är utgångspunkten det "bunkringsmått" som rapporteras till FN Naturvårdsverket (2018c). För att räkna bort utsläppen från utrikes invånare används åter Swedavias passagerarundersökning (Swedavia, 2016, 2018b). För att även här räkna med de klimateffekter som uppstår på grund av att utsläpp sker på hög höjd räknas inrikesutsläppen upp med 1,4 (läs mer i avsnitt 2).

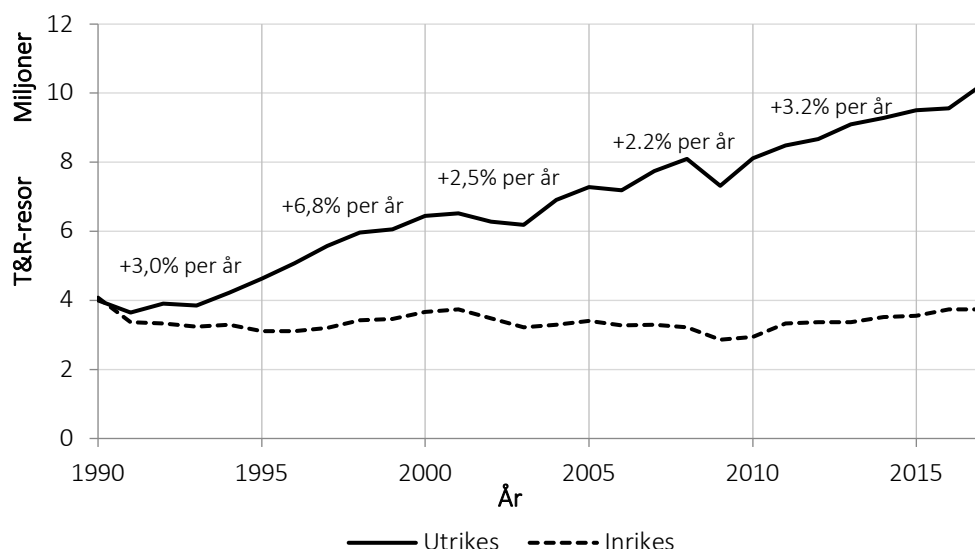
4 Resultat: svenska befolkningens flygresor 1990–2017

Nedan presenteras de viktigaste resultaten. Förändringarna i data och metod har applicerats bakåt i tidsserien vilket har resulterat i något lägre siffror jämfört med rapporten som kom 2016, både medelavståndet och utsläppen per person-km är nu något lägre. För mer detaljerade resultat ladda ner excel-filen "Beräkningar - Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990 – 2017"^{xiv}.

4.1 Antal resor

Inledningsvis beskrivs här antalet flygresor för både svenska och utländska invånare. Från 1990 till 2017 har antalet ankommande och avresande utrikespassagerare ökat från 9 miljoner till 31 miljoner (Trafikanalys, 2018; Transportstyrelsen, 2016), det vill säga en ökning med 240 %. För inrikes resor har antalet avresande och ankommande passagerare däremot varit mer eller mindre oförändrat under perioden och har legat kring 7 miljoner enkelresor (Trafikanalys, 2018; Transportstyrelsen, 2016),

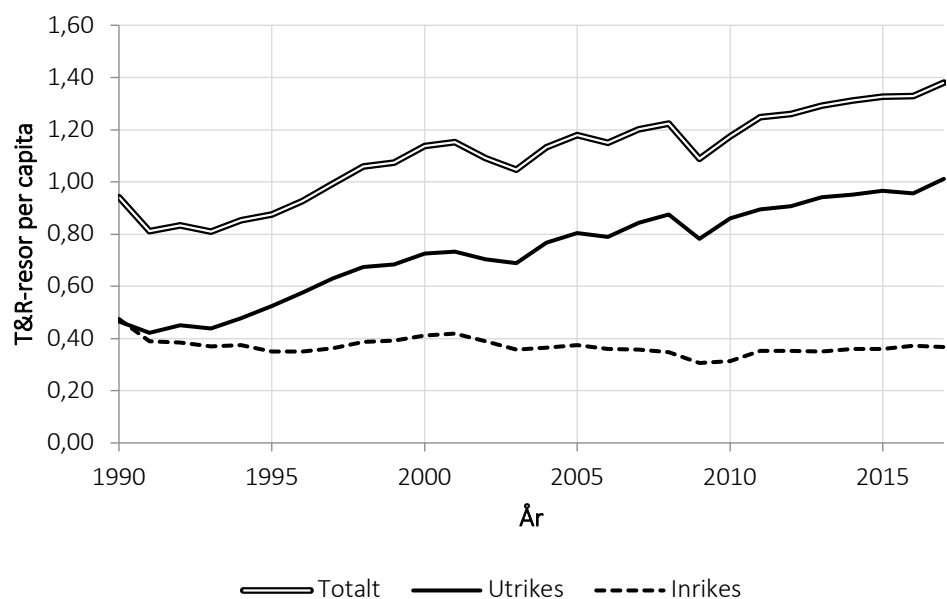
Det relevanta för invånarperspektivet är dock antalet flygresor som den svenska befolkningar har gjort. Under denna tid har andelen passagerare som är svenska invånare minskat, på t.ex. Stockholm Arlanda flygplats (som står för 2/3 av utrikespassagerarna) har andelen som är svenska invånare minskat från i genomsnitt 66 % 2001-2005 till i genomsnitt 54 % 2013-2017 (Swedavia, 2018b). Figur 1 visar antalet utrikes och inrikes tur-och-retur-flygresor som svenska invånare har gjort per år. När de utländska invånarna har exkluderats blir ökningen för svenska invånares utrikesresor 160 % mellan 1990 till 2017, vilket innebär en genomsnittlig årlig ökning på 3,5 %. Av de 10,2 miljoner utrikes tur-och-retur-resor som svenskarna gjorde under 2017 gjordes 1,4 miljoner med Kastrup som avreseflygplats för utrikesflygresan och 0,2 miljoner från Gardemoen.



Figur 1 Totalt antal utrikes och inrikes tur-och-retur-flygresor som svenska invånare gjort. Procentsatserna illustrerar den genomsnittliga årliga ökningen under respektive femårsperiod.

Tre tydliga svackor kan ses i Figur 1. Den första var i början av 1990-talet, då det var lågkonjunktur i Sverige som mycket väl kan förklara det stagnerade antalet flygresor. Den andra mer tydliga svackan var i början av 2000-talet, vilket kan kopplas till terrorattackerna 11 september 2001 samt utbrottet av SARS-epidemin. Effekten på den globala flygtrafiken av attackerna är väl dokumenterade (Ito & Lee, 2005), likaså från SARS (Lee et al., 2009). Den tredje svackan var under 2009, vilket var under den globala finanskrisen som även påverkade Sverige. Vidare ses en brant ökning 1993-2000 som sannolikt är kopplad till avregleringen av flygindustrin och skapandet av en marknad inom EU (Scharpenseel, 2001).

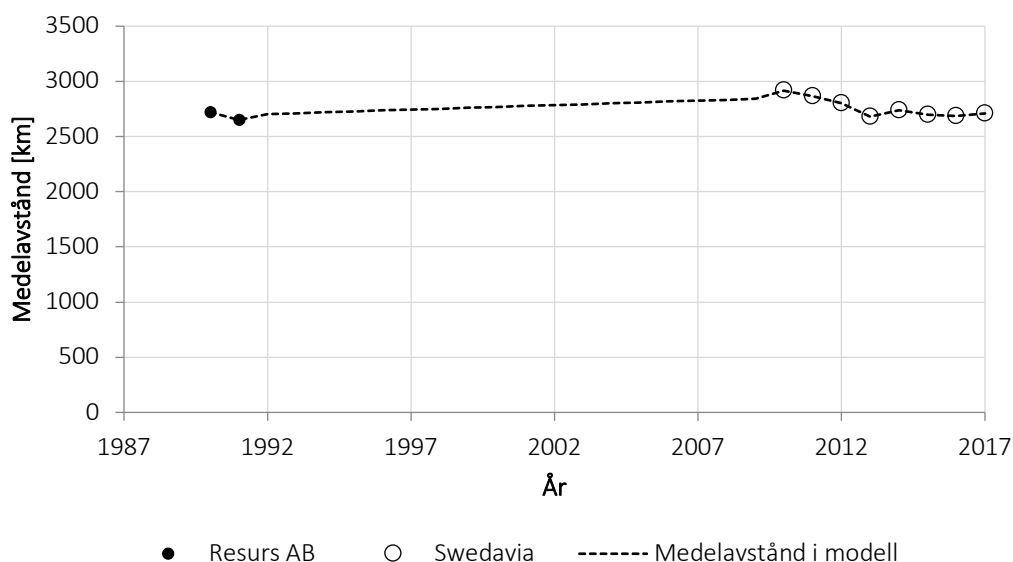
Då antalet invånare i Sverige har ökat så blir ökningen per person något lägre. Räknat per capita så visar Figur 2 nedan att svenska invånare gjorde cirka 0,5 utrikes tur-och-retur-resor per person 1990, vilket ökade till 1,0 resor per person år 2017. Detta innebär en ökning med 120 % och en årlig ökning med 2,9 % per person och år. Om samma metod tillämpas på inrikes flygresor, där antalet resor har varit mer eller mindre stabilt under denna 27-årsperiod, gjorde svenskarna 0,4 inrikes tur-och-retur-resor per person 2017. Alltså gjordes 1,4 tur-och-retur-resor, inrikes och utrikes sammanslaget. I en liknande studie från Danmark gjorde danskarna något fler tur-och-returresor, ca 1,8 inrikes- och utrikesresor (Christensen, 2016).



Figur 2 Antalet tur-och-retur-resor per capita. Utrikes, inrikes och totalt.

4.2 Medelavstånd

Medelavståndet för utrikesresorna har inte ökat nämnvärt mellan 1990 och 2017, se figuren nedan. Det har legat mellan 2600 och 2900 under tidsperioden, med en topp 2010 då andelen som reste till Asien var högre än efterföljande år. Som en jämförelse kan nämnas att avståndet för en enkelresa mellan Stockholm och Madrid är ungefär 2600 km, medan en enkelresa Stockholm – New York är ca 6300 km.



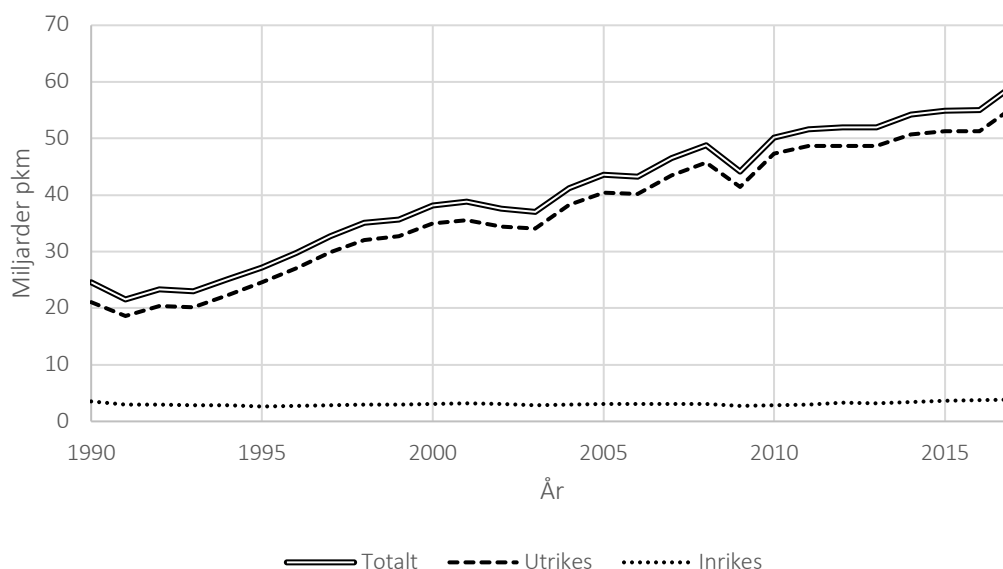
Figur 3 Medelavståndet för svenska befolkningens utrikesresor enkel väg med flyg.

Figur 3 visar medelavståndet beräknat utifrån data från Tillväxtverket/Resurs AB (1990 – 1991), Swedavia (2010 – 2017) samt den linjära anpassningen däremellan. År 2017 beräknades medelavståndet för direktresor till 2100 km och för transferresor till 4800 km. Av samtliga resor

svenska resenärer gjorde var 77 % direktresor och 23 % transferresor, vilket ger det viktade medelavståndet 2700 km 2017.

4.3 Antal person-km

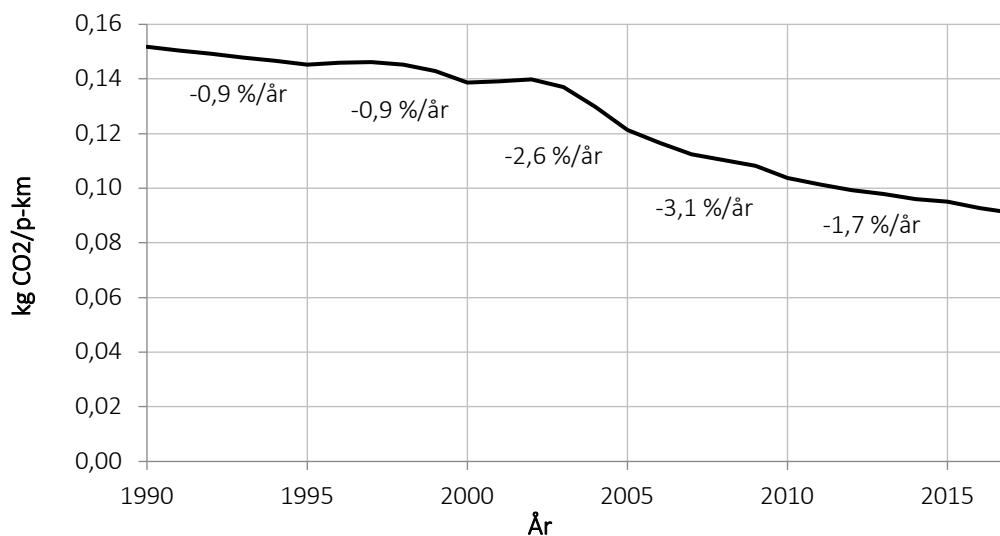
Baserat på antal resor och medelavstånd kan antalet person-km beräknas^{xv}. Figur 4 visar antal person-km från svenska invånares inrikes- och utrikesresor, samt totalt för alla flygresor. Från 1990 till 2017 har antalet person-km för den svenska befolkningen ökat från 25 till 59 miljarder person-km, en ökning med 142 % och i genomsnitt 3,3 % per år.



Figur 4 Antal person-km för svenska befolkningens utrikes- och inrikesresor, samt totalt.

4.4 Utsläpp per person-km

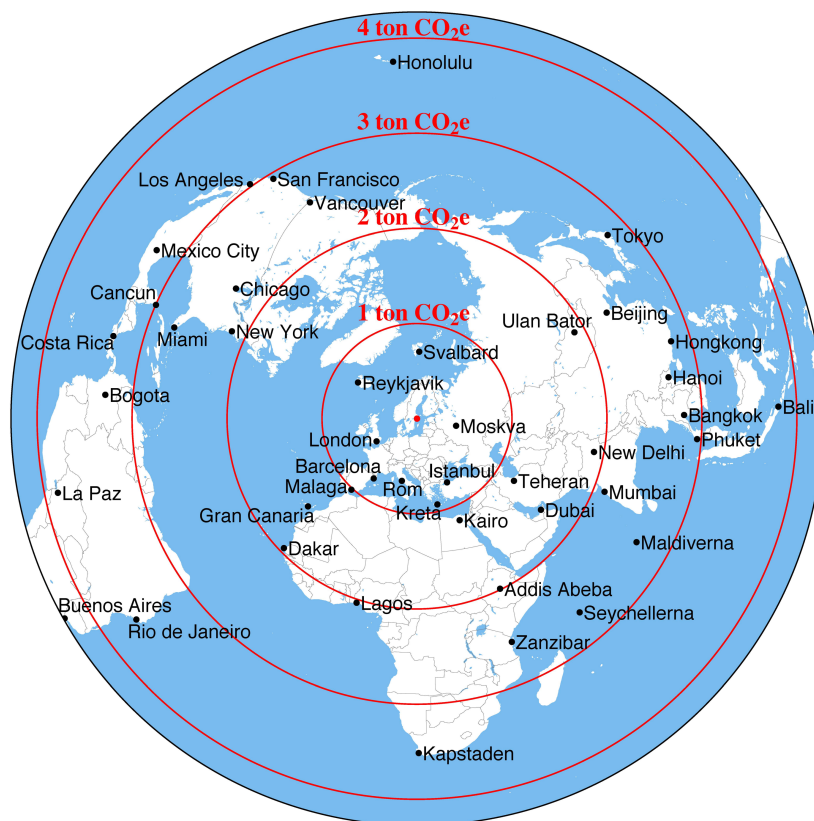
Koldioxidutsläppen för utrikesresorna har minskat från 150 gram per person-km år 1990 till 90 gram år 2017, vilket är en minskning på 40 % och en årlig minskning på 1,9 % (se figur 5)^{xvi}. Utsläppen från inrikesflyget var enligt våra beräkningar 120 g CO₂ per person-km 2017. Minskningarna beror på teknisk utveckling, att kabinfaktorn har förbättrats samt förändringar i flygledning.



Figur 5 Utsläpp kg CO₂ per person-km. Procentsatserna illustrerar den genomsnittliga årliga ökningen under respektive femårsperiod.

Med en uppräkningsfaktor på 1,9 för att inkludera höghöjdseffekten blir utsläppen 170 g CO₂-ekvivalenter per person-km för utrikes flygresor 2017. För inrikesflyg, med en uppräkningsfaktor på 1,4, blir utsläppen också 170 g CO₂-ekvivalenter per person-km. 170 gram kan jämföras med utsläppen från en genomsnittlig bil i den svenska bilparken som är cirka 154 g CO₂ per km (Trafikverket, 2018), vilket motsvarar drygt 50 gram per person då det i medeltal är tre personer i bilen vid bilresor över 30 mil (Larsson & Kamb, 2018, sid 6). I syfte att illustrera resultatet om vad 170 g CO₂-ekvivalenter per person-km innebär så har nedanstående figur tagits fram.

Att använda 170 g CO₂-ekvivalenter per person-km för både korta och långa resor är naturligtvis en förenkling. Det är dock inte självklart om det är korta eller långa resor som gynnas/missgynnas med detta beräkningssätt. Å ena sidan så medför långa resor lägre koldioxidutsläpp per person-km pga. att den bränslekrävande uppstigningen står för en mindre del av flygresan och att stora och mer energieffektiva flygplan ofta används för långresor. Å andra sidan medför långa resor att en större del av flygresan sker på hög höjd vilket innebär att en högre höghöjdsfaktor skulle kunna tillämpas här (analogt med att vi använder en lägre höghöjdsfaktor för inrikesresor som ofta är korta, se vidare avsnitt 2). Vi bedömer dock att en schablonmässig beräkning om 170 g CO₂-ekvivalenter ger en rimlig bild av utsläppen för både korta och långa distanser. Beräkningar av total klimatpåverkan från flyg är dock förknippade med stora osäkerheter.



Figur 6. Utsläpp inklusive så kallade höghöjdseffekter för tur-och-retur-resor mellan Stockholm och olika destinationer. Figuren är baserad på 170 g CO₂-ekvivalenter per person-km.

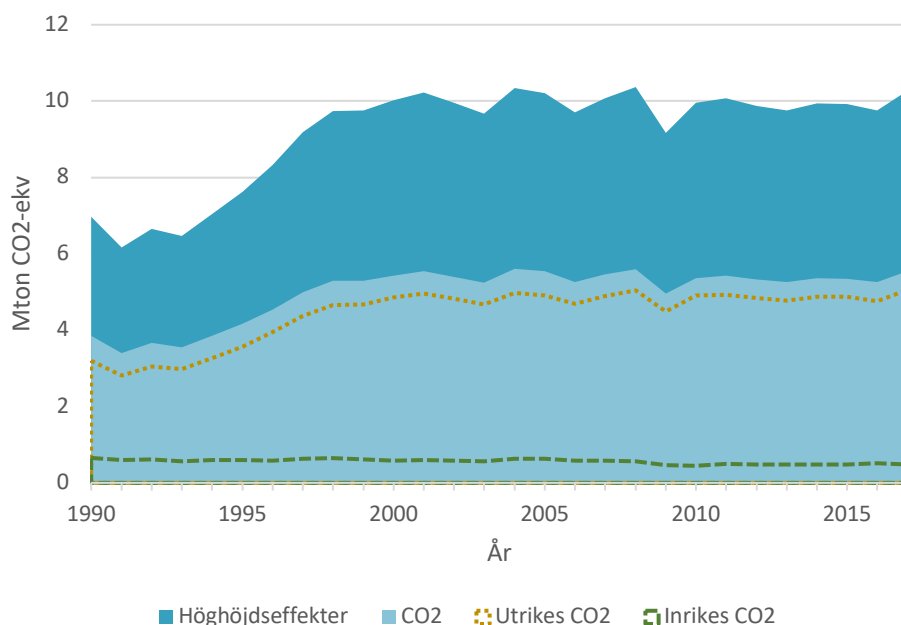
För att validera vårt resultat, som för enbart CO₂-utsläpp var 90 g per person-km år 2017, har vi jämfört dem med andra källor. Europeiska miljöbyrån har liknande siffror för luftfart inom Europa och uppskattade utsläppen till 110 g CO₂ per person-km 2011, och en årlig minskning på 1,8 % mellan 1996 och 2011 (European Environment Agency, 2012). Christensen (2016) har beräknat utsläppen för resor från Danmark under 2010 baserat på olika flygplansstorlekar och distanser, där hon använder en utsläppsfaktor på 97 g CO₂/pkm^{xvii} för resor på 1500–4000 km. Aamaas och Peters (2017) använder utsläpp på 136 g CO₂/pkm för år 2009 för resor över 800km, vilket även inkluderar uppströms utsläpp från bränsleproduktionen som står för ca 10–20 % inom EU (läs mer i Appendix B.3). Med hänsyn till att det gäller olika år och en kontinuerlig årlig minskning stämmer dessa tre beräkningar relativt väl överens med våra resultat för motsvarande år.

4.5 Utsläpp från svenska befolkningens flygresor

Resultaten visar att år 2017 var växthusgasutsläppen från svenska invånares flygresande inrikes och utrikes 10 miljoner ton CO₂-ekvivalenter (Mton CO₂-ekv)^{xviii}. För att sätta storleken på dessa utsläpp i relation till andra utsläpp så kan man konstatera att de ungefär motsvarar utsläppen från svenska invånares totala personbilstransporter.^{xix} Av utsläppen står tjänsteresorna för ca 1/5 och privatresorna för ca 4/5^{xx}.

Utsläppen kan också jämföras med ett globalt snitt per person. Utsläppen är cirka 1,1 ton CO₂-ekvivalenter per svensk invånare år 2017. Motsvarande globala genomsnitt är cirka 0,2 ton per capita^{xxi}. Följaktligen är utsläppen från flygresor för den genomsnittliga svenska invånaren fem gånger högre än det globala genomsnittet.

Vårt resultat (baserat på boendeland) på 10 miljoner ton CO₂-ekvivalenter kan jämföras med det så kallade bunkringsmåttet. Detta kan jämföras med bunkringsmåttet som visade totalt 3,1 Mt CO₂, varav 2,6 Mt kommer från utrikes och 0,5 Mt från inrikesresor (Naturvårdsverket, 2018c, 2018d). Skillnaden förklaras till stor del på att vår indikator omfattar utsläpp hela vägen till slutdestinationen, dvs även efter mellanlandning, samt den så kallade höghöjdseffekten. Utvecklingen över tid och fördelningen mellan inrikes och utrikes kan ses nedan.

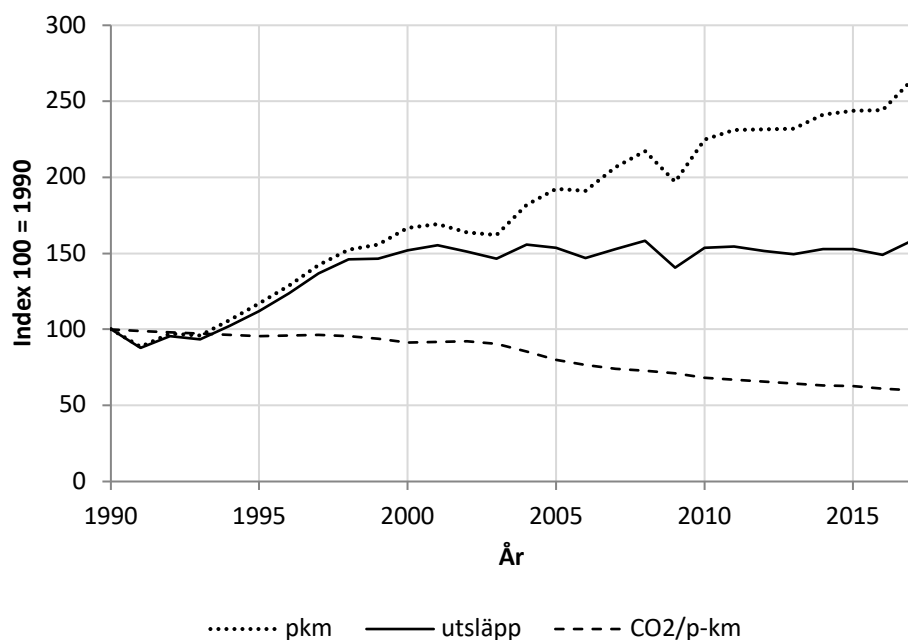


Figur 7 Utsläpp från svenska invånares flygresor 1990–2017. Det ljusblå blocket visar de totala utsläppen av CO₂, inrikes och utrikes inkluderat, och det övre mörkblå blocket visar höghöjdseffekterna. Den streckade orangea linjen visar CO₂-utsläppen från inrikesresorna och den prickade lila linjen visar CO₂-utsläppen från utrikesresorna.

Utsläppen från svenska invånares flygresor har ökat med 47 % sedan 1990, vilket motsvarar genomsnittlig årlig ökning på 1,5 %. Skillnaderna mellan inrikes och utrikes är mycket stora. Utsläppen från inrikes flygresor har minskat med 26 % medan utsläppen från utrikes flygresor har ökat med 58 % sedan 1990. För 2017 så står inrikesresor för 7 % av utsläppen medan utrikes står för 93 %.

Den stora utsläppsökningen sker efter lågkonjunkturen i början på 90-talet. Mellan 1993 och 1998 ökade antalet utrikesresor mycket kraftigt (se Figur 1), vilket troligen hänger ihop med de sänkta priser som följde av avregleringen inom flygbranschen och skapandet av en europeisk flygmarknad (Scharpenseel, 2001).

Ovanstående figur som visar stabila utsläpp sedan år 2000 stämmer inte med bilden av ökande utsläpp från flyget. De totala utsläppen från utrikesflyget ökar dock om man räknar med det ökande antalet utländska invånare som flyger till Sverige^{xxii}. Men om man ser till svenska befolkningens flygutsläpp så har de alltså inte ökat. Anledningen till att detta är att utsläppsminskningen per person-km har varit likvärdig med ökningen i antalet resor. Figuren nedan visar utvecklingen av antalet person-km, utsläppen från den svenska befolkningens utrikesresor och utsläppen per person-km, med basår 1990.



Figur 8 Utveckling av antalet person-km, utsläpp från svenska befolkningens utrikesflygresor och utsläpp per person-km (baserat på svensk utrikestrafik). Basår 1990 = 100.

Fram till millennieskiftet följer de totala utsläppen ökningen av antalet person-km relativt väl. Därefter ökar inte utsläppen på grund av att volymökningen kompenseras av kraftiga minskningar i utsläpp per person-km. Ungefär hälften av minskningen i utsläppen per person-km beror på den ökade kabinfaktorn (Kamb et al., 2016). I och med att kabinfaktorn har en teoretisk gräns på 100 %, och en praktisk gräns som är lägre, så behövs andra kraftfulla åtgärder till för att kunna hålla samma takt i utsläppsminskningen per person-km framöver. Om detta inte sker, och om flygandet fortsätter att öka i samma takt, så kommer utsläppen från svenska invånares flygande att öka i framtiden.

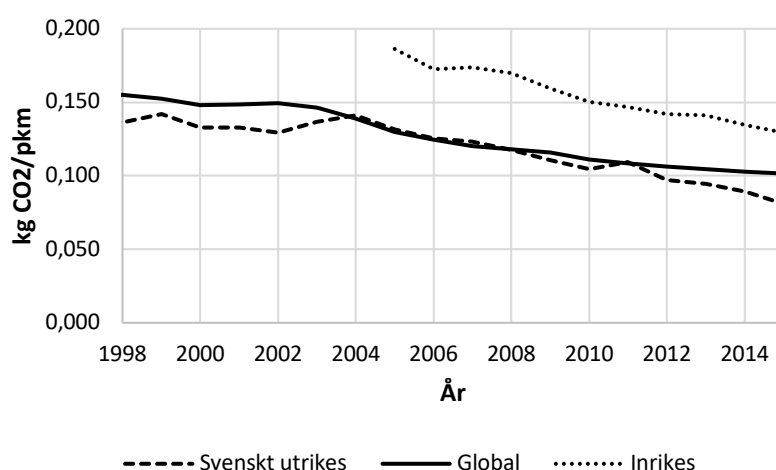
Sammanfattningsvis, de totala utsläppen från svenska invånares flygresor har ökat med 47 % sedan 1990 men sedan år 2000 har de planat ut och legat på ungefär samma nivå. För att nå klimatmålen behövs minskade utsläpp från i stort sett alla sektorer i alla länder. För att ha en god chans att begränsa uppvärmningen till två grader behöver de globala koldioxidutsläppen snabbt vända neråt för att på sikt upphöra helt (netto noll) (IPCC, 2018; UNEP, 2018).

Appendix A : Utsläpp per person-km

Jämförelse mellan globalt snitt, utrikesflyg från Sverige och inrikesflyg

Som nämndes i beskrivningen av metoden i avsnitt 3.4 används ett globalt snitt för utsläpp per person-km. Data hämtas från International Energy Agency (IEA, 2018)^{xxiii}. ICAO publicerar statistik över globala person-km och ton-km för gods och post som utförs i reguljärtrafik, liksom uppskattningar av internationell icke-reguljär trafik^{xxiv} (ICAO, 2008, 2015, 2018). IATA publicerar också data över person-km och ton-km för gods, som användes för 1990 och 1995 (IATA, 2015b).

Det globala snittet nedjusteras dock för att ta hänsyn till att utsläppen från svenska utrikesflyg är lägre än det globala snittet. Detta baseras på den så kallade bunkringsstatistiken för utrikes luftfart som startar från svenska flygplatser, Naturvårdsverket (2018d). Nedjustering är 6 % för alla åren och siffran baseras på den genomsnittliga skillnaden för perioden 1998 – 2015 (som är de år då data finns både för Svenskt utrikes och globalt snitt). I figuren nedan jämförs CO₂-utsläpp per person-km för det globala snittet (utan nedjustering) och svenskt utrikesflyg. Som en jämförelse redovisas även inrikestrafiken.



Figur 9 Genomsnittliga utsläpp per person-km 1990-2017 mätt som kg CO₂

Serien för svenskt utrikesflyg fluktuerar. Detta gör att denna data inte är lämplig att använda direkt för beräkningar av svenska befolknings flygutsläpp då det skulle ge fluktuationer som inte avspeglar de verkliga utsläppen från svenskarnas flygande runt om i världen. Den generella nedjusteringen på 6 % kan dock motiveras av att den svenska befolkningens utrikesflygande till stor del sker i flygplan som lyfter från svenska flygplatser. Se vidare i beräkningsfil, flik 1.1 och 1.2. I flik 4.2 finns beräkningar baserade Transportstyrelsens utsläppsdata. Dessa användes dock ej då de fluktuerar ännu mer än bunkringsstatistiken, och då de ligger oförklarligt mycket lägre än både det globala snittet och bunkringsstatistiken.

Koldioxidutsläppen per person-km för inrikestrafiken följer ungefär samma utvecklingskurva, men ligger betydligt högre sannolikt pga. att de höga utsläppen vid start får större utslag vid kortare resor och en lägre kabinfaktor.

Exkludering av bränsle som används för frakt

Utsläppen från luftfarten måste fördelas mellan frakt och passagerare. Eftersom vikt är en central faktor för utsläppsgenerering inom luftfarten har det valts som bas för att fördela utsläppen i dessa beräkningar. För att kunna jämföra passagerarvolymerna med fraktvolumerna antas passagerarna ha en genomsnittlig vikt (inkl. bagage) på 100 kg (IATA, 2015b; ICAO, 2014). Passagerarna kräver även säten, toaletter etc. som inte behövs för godsfrakt och därför bör passagerarna ansvara även för den vikten. Vi antar en extra 60 kg i enlighet med Wit et al. (2002), som också stämmer väl överens med ICAO (2014)^{xxv}, vilket resulterar i totalt 160 kg per passagerare. Data över tid för antalet ton-km som genomförs inom utrikes luftfart saknas tyvärr, men en uppskattning har gjorts för 2017 baserat på data från Transportstyrelsen (2018c). Passagerarna antas sedan stå för samma andel bakåt i tiden enligt nedanstående ekvation.

$$\gamma = \frac{V_{pkm} \cdot v_{pass}}{V_{pkm} \cdot v_{pass} + V_{tkm}}$$

där

$$\begin{aligned} V_{pkm} &= (\text{flygvolym}) [pkm] \\ v_{pass} &= 0,160 (\text{vikt per passagerare}), \left[\frac{\text{ton}}{\text{passagerare}} \right] \\ V_{tkm} &= (\text{gods- och postvolym}) [tkm] \end{aligned}$$

Utsläppen per person-km beräknas därefter enligt följande ekvation:

$$u_{pkm} = \frac{U_{TtW} \cdot \beta \cdot \eta_{int} \cdot \gamma}{V_{pkm}}, \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{pkm}} \right]$$

där:

$$\begin{aligned} U_{TtW} &= (\text{beräknade utsläpp, Tank to Wheel}), [\text{kg CO}_2] \\ \beta &= (\text{justering för att matcha den svenska statistiken}) [\%] \\ \eta_{int} &= 1,9 (\text{höghöjdpåslag för utrikesresor}), \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg CO}_2} \right] \\ \gamma &= (\text{passagerares andel}) [\%] \end{aligned}$$

Exkludering av bränsle för militärt bruk

Då data från IEA omfattar bränsleförbrukningen även från militär luftfart räknades den militära andelen bort med uppskattningar sammanställda av IPCC (1999) och Lee et al. (2009).

Utsläppen från bränsleanvändningen fördelades sedan mellan passagerare och gods på samma sätt som beskrivs ovan, baserat på statistik från ICAO (2008, 2018) och IATA (2015b). Detta resulterade i ekvationen nedan.

$$u_{pkm} = \frac{F(1 - \alpha) \cdot u_{TtW} \cdot \eta_{int} \cdot \gamma}{V_{pkm}}, \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{pkm}} \right]$$

där:

$$\begin{aligned} F &= (\text{global bränsleförbrukning}) [\text{kg}] \\ \alpha &= (\text{militärens andel av bränsleförbrukningen}) [\%] \\ u_{TtW} &= 3,16 (\text{utsläpp vid förbränning, Tank to Wheel}), \left[\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg bränsle}} \right] \\ \eta_{int} &= 1,9 (\text{höghöjdpåslag för utrikesresor}), \left[\frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg CO}_2} \right] \\ \gamma &= (\text{passagerares andel}) [\%] \end{aligned}$$

Appendix B : Framtida uppföljning

Som nämndes inledningsvis så är uppföljning av utsläppen från den svenska befolkningens flygresor viktig för att bidra till en ökad medvetenhet om flygresornas totala klimatpåverkan och utveckling över tid, samt som ett komplement till bunkringsmättet när det gäller att följa upp effekterna av olika styrmedel. Bunkringsmättet behöver dock behållas, inte minst för att få fram globala totalutsläpp utan att riskera dubbelräkning.

För att få kontinuitet i uppföljningen av utsläppen från den svenska befolkningens flygresor vore det bra om beräkningarna i framtiden görs av en myndighet eller liknande, till exempel Transportstyrelsen, Trafikanalys, SCB eller SMED (Svenska MiljöEmissionsData). För att underlätta för en sådan uppföljning, och för att ha en hög transparens i våra beräkningssätt, finns excel-filen "Beräkningar - Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990 – 2017" tillgänglig för nedladdning^{xxvi}.

Om en årlig uppföljning i linje med metoden i den här rapporten kommer att göras så redovisas här några tankar om hur det kan gå till. Två alternativ är möjliga för framtida uppföljning: "förenklad uppföljning" och "fullständig uppföljning". En mycket förenklad uppföljning innebär att endast den årliga statistiska uppgiften om antalet utrikespassagerare och förs in i uppföljningsberäkningarna^{xxvii}, och att den kombineras med trendsiffror för övriga parametrar. Den statistiska uppgiften om antalet svenska utrikespassagerare påverkar utfallet avsevärt och varierar mycket mellan olika år. I en sådan förenklad uppföljning skulle siffrorna för andelen svenskar, utsläpp per person-km och medelavstånd extrapoleras baserat på tidigare år^{xxviii}.

Att varje år göra en fullständig uppföljning är naturligtvis önskvärt då det ger säkrare resultat. Vår bedömning är dock att övriga parametrar varierar relativt lite och att det kan räcka att göra en fullständig uppföljning vartannat eller vart tredje år.

För att underlätta uppföljningen skulle det vara mycket önskvärt om Swedavia börjar publicera vissa uppgifter från passagerarenkäten. Det är primärt andelen svenskar som reser till och från Swedavias flygplatser, såväl för inrikes- som för utrikestrafiken, som behövs för den här uppföljningen. Nedan beskrivs de olika metodstegen avseende källor och möjligheter till metodförbättringar.

B.1 Antal resor

Grunden för beräkningen av antalet resor är den totalstatistik för utrikes passagerare på svenska flygplatser som Trafikanalys publicerar varje år (dataset "Luftfart"). Hur stor andel av dessa resor som görs av svenska invånare är baserat på de passagerarenkäter som Swedavia genomför. Totalstatistik vore naturligtvis ett säkrare underlag än stickprovsundersökningar, men vad vi vet finns inga sådan data. IATA har dock uppgifter om alla passagerare, inklusive deras nationalitet. Kostnaden för att få tillgång till denna databas är dock avsevärd och rymdes inte inom detta projekt. När det gäller stickprovsundersökningar är det viktigt att metodiken bibehålls och antalet intervjuade personer förblir omfattande. Samma sak gäller för de svenska invånare som flyger från Gardemoen och Kastrup^{xxix}. Om en återkommande uppföljning skall göras vore det önskvärt med långsiktiga överenskommelser för att säkerställa framtida datatillgång (framförallt från Swedavia).

B.1.1 Medelavstånd och mellanlandningar

För analyser av medelavstånd från år 2010 och framåt används data från Swedavia. Medelavståndet för år 1990 och 1991 bygger på data från Tillväxtverket/Resurs AB. Datan från

Resurs AB bygger dock på en mycket mindre stickprovsundersökning. För 2010, 2012, 2013 har vi tillgång till data från både Swedavia och Resurs AB och för dessa år så ligger Resurs AB 3.7 % högre. Det finns alltså sannolikt en överskattning i siffrorna från Resurs AB. Vi gör därför en nedjustering av siffrorna för 1990 och 1991 med 3.7 %.

B.1.2 Swedavias data

Passagerarstatistiken som används för att beräkna medelavståndet täcker samtliga passagerare som reser via Swedavias flygplatser, och täcker både reguljär och chartertrafik från dessa flygplatser. Det som missas här är de utrikesresor som startar från andra flygplatser än Swedavias. Dock står Swedavias flygplatser för 90% av antalet passagerare och 92% av resvolymen i pkm under 2017^{xxx}. En stickprovsberäkning för 2017 visar att inkludering av övriga flygplatser har försumbar påverkan på medelavståndet.

Swedavias passagerarundersökning baseras på enkäter gjorda på Stockholm/Arlanda, Stockholm/Bromma, Göteborg/Landvetter, Luleå, Malmö och Umeå Airport. I dagsläget görs cirka 140 000 intervjuer per år. Intervjuerna genomförs vid gate och för att på bästa sätt spegla passagerarvolymerna baseras urvalet på trafikstatistik och tidtabellsdata.

När medelavståndet för direktresor beräknas används Swedavias resvaneundersökning dels för att räkna bort resenärer som inte bor i Sverige och dels för att räkna bort resenärer som transfererar vidare utomlands. Andelen svenska resenärer är beräknade per kontinent och är relativt låg till Europa jämfört med kontinenter längre bort. För alla kontinenter utom Europa antas transferresenärerna vara jämt fördelade på samtliga destinationer. För Europa antas transferresenärerna vara fördelade baserat på antalet resenärer till de vanligaste transferdestinationerna i Europa, dvs. Amsterdam, Berlin, Frankfurt, Helsingfors, Köpenhamn, London, München, Oslo och Paris. Dessa täcker ca 2/3 av resenärerna som transfererar utomlands.

B.1.3 Tillväxtverkets data från Resurs AB och SCB

Medelavståndet för 1990 och 1991 är baserat på data som Tillväxtverket använder. Data från Tillväxtverket/Resurs AB för åren 2010, 2012, 2013 har endast använts för att jämföra med utfallet baserat på Swedavias data. Tillväxtverket har bytt leverantör från Resurs AB till SCB som från och med 2017 genomför undersökningen "Svenskarnas resande" (Tillväxtverket, 2018a). I och med bytet av leverantör ser undersökningarna något olika ut, men en jämförelse mellan de olika undersökningarna visar på små skillnader i resultaten (Tillväxtverket, 2018b). Data för 2017 från Tillväxtverket/SCB användes inte alls då vi istället fick tillgång till Swedavias data. Data från Resurs och SCB finns dock i beräkningsfilen (flik 3.3 och 4.2) och beskrivs nedan.

"Svenskarnas resande" är en enkätundersökning som SCB gör och enkäter skickades ut till 5000 personer varje månad under 2017. Datasetet innehöll 2260 utrikesresor med flyg, vilka på liknande sätt viktades för att motsvara svenska befolkningen. Datamängden innehöll inte information om avreseflygplats för internationell resa. För att inte överskatta medelavståndet genom att räkna med flygavstånd som skett inrikes användes istället en viktad geografisk medelpunkt baserat på data från Resurs AB. Innan medelavståndet beräknades justerades vissa destinationer pga. låg detaljnivå i datasetet^{xxxi}. Därefter beräknades medelavståndet. Resultatet visade ett medelavstånd för 2017 på ca 3100 km. Det ligger betydligt högre än det medelavstånd på ca 2700 km som bygger på data från Swedavia. Medelavståndet för utrikesresor med flyg i Trafikanalys resvaneundersökning RVU1116 var 3000 km^{xxxii} (Trafikanalys, 2017). En jämförbar studie fann liknande medelavstånd för danska invånare (Christensen, 2016).

B.1.4 Ökat medelavstånd pga. mellanlandningar

Ett problem när det gäller den metod som används för att beräkna medelavstånd är att extra avstånd på grund av mellanlandningar inte beaktas. Detta resulterar i en underskattning av både medelavstånd och utsläpp eftersom den verkliga resvägen vid transferresor är längre än fågelvegen (som är det avstånd som har använts i denna analys). Denna underskattning är dock kontinuerlig för hela perioden och påverkar därför sannolikt inte jämförelser över tid. Orsaken till att det inte är beaktat i denna analys är att uppgifter om mellanlandningar inte finns tillgängliga i de data vi har haft tillgång till.

Vi har undersökt möjligheterna för att uppskatta det extra avståndet som uppstår pga. mellanlandningar. Resvaneundersökningen som Trafikanalys genomför saknar dock tillräckligt detaljerad information (Trafikanalys, 2017). Transportstyrelsen har ingen uppgift om vidare resa efter första landningsflygplats utomlands (Transportstyrelsen, 2018c). Swedavia har däremot data för detta i sin passagerarundersökning, men bedömer att de av sekretessskäl inte kan dela med sig av dessa data. En eventuell väg som framåt kan vara att använda data från organisationen Sabre, vilket gjordes i en studie om danskars flygresande (Christensen, 2016). Här uppskattades resevolymen inklusive mellanlandningar genom biljettstatistik, där danskar identifierades via IP-adressen för det land biljetten bokades i.

B.2 Utsläpp per person-km, höghöjdseffekter och biobränsle

Beräkningen av utsläpp per person-km för utrikesresor utgår från ett globalt genomsnitt. Data för detta kan inhämtas enligt länkar i beräkningsfilen (se även appendix A). Nedjusteringen av de globala siffrorna med 6 % bygger på genomsnittlig skillnad mellan globala utsläpp och svenska utrikesflyg för perioden 1995 – 2015.

Framöver kommer det vara viktigt att följa den vetenskapliga utvecklingen om höghöjdseffekten. Det finns fortsatt stora osäkerheter kring vissa aspekter och det är ett aktivt forskningsområde. De siffror som används här, 1,9 för utrikes och 1,4 för inrikes, kommer att behöva justeras efterhand som ny kunskap växer fram.

Utsläppen per person-km kan i framtiden minska genom biobränsleanvändning, då CO₂ därigenom reduceras men höghöjdseffekterna kvarstår till stor del. Det är viktigt att detta fångas i uppföljningen. För inrikesresor är metoden baserad på bunkringsmättet, så reduktionen bör fångas redan där. Men för utrikesresor kan det kräva en större metodförändring, framförallt om flygplan som startar från svenska flygplatser har en mycket större andel biobränsle än det globala eller europeiska genomsnittet. Detta kan fångas upp genom att räkna bort en andel av utsläppen baserat på relationen mellan de livscykelbaserade utsläppen från fossila bränslen respektive från biobränslen. Samarbete med Energimyndigheten kan också vara relevant då de redan idag systematiskt följer upp utsläpp från produktion av de biobränslen som används för landburna transporter (Energimyndigheten, 2017).

B.3 Livscykelperspektiv på flygutsläpp

I den officiella rapporteringen till FN räknas endast utsläppen vid förbränning av flygbränslet med. Utsläppen från utvinning, produktion och distribution av bränslen, samt utsläpp från produktion av flygplan och infrastruktur, allokeras till andra branscher och länder där dessa aktiviteter sker. I de resultat som presenteras i den här rapporten är livscykelbaserade utsläpp inte inkluderade.

Om fokus är att spegla totala klimatpåverkan från konsumtion av flygresor så skulle livscykelperspektivet på flygutsläpp kunna tillämpas för denna indikator i framtiden. Om endast utsläpp från utvinning, produktion och distribution av bränslen eller om hela LCA-utsläppen, inklusive infrastruktur etc., i så fall skulle inkluderas finns det argument både för och emot.

Om utsläppen från produktion och distribution av bränsle önskas inkluderas, skulle detta kunna göras genom att multiplicera med en viss uppräkningsfaktor. Utsläppen varierar dock beroende på varifrån oljan och bränslet kommer (Masnadi et al., 2018), så det skulle vara önskvärt att följa upp ursprung av flygbränslet för att få en representativ bild för varje år. Till dess att detta görs är det tveksamt om endast ett schablonpåslag för samtliga år tillför något i sammanhanget.

För att beräkna utsläppen från produktion och distribution av bränsle finns metoder med olika systemgränser och antaganden, som också ger olika resultat. Eriksson och Ahlgren (2013) visade i en litteraturstudie av livscykelutsläppen från bensin och diesel att allokeringen av utsläppen från raffinaderiet till de olika produkterna, likaså antaganden om gasfackling, raffinadertechnik, val av systemgränser, omvandlingsfaktorer m.m. är viktiga aspekter. En studie från Europakommissionen visar att råoljans ursprung påverkar uppströms utsläpp avsevärt (EXERGIA S.A. et al., 2015). Eriksson och Ahlgren (2013) visade vidare att utsläpp från svenska raffinaderier ligger lägre än medel för europeiska raffinaderier, troligen pga. att raffinaderier i Sverige ofta har avancerad teknik för att minimera miljöpåverkan.

Eriksson och Ahlgren (2013) rekommenderar att använda Edwards et al. (2014) för en europeisk kontext. Det skulle motsvara ett påslag på 22% för bensin och diesel inom Europa (Edwards et al., 2014). För Sverige rekommenderas istället Gode et al. (2011), vilket ger ett påslag på ca 8,3% för jetbränsle producerat vid svenska raffinaderier jämfört utsläppen vid förbränning.

En jämförelse av olika allokeringsmodeller från raffinaderier baserat på ett genomsnittligt europeiskt raffinaderi som används i EU-lagstiftning kom fram till ett påslag för produktion och distribution för jetbränsle på 23–27 % beroende på modellval (Moretti et al., 2017). En annan studie som jämförde olika studier för hela livscykeln av flygbränsle kom fram till liknande resultat (Unnasch & Riffel, 2015). Vidare anges ett påslag på 20% för jetbränsle i utsläppsberäknaren Ecopassenger (Knörr & Hüttermann, 2016).

5 Referenser

- Aamaas, B., & Peters, G. P. (2017). The climate impact of Norwegians' travel behavior. *Travel Behaviour and Society*, 6, 10-18.
- Anderson, B., & Bernauer, T. (2016). How much carbon offsetting and where? Implications of efficiency, effectiveness, and ethicality considerations for public opinion formation. *Energy Policy*, 94, 387-395.
- Avinor (2018, April 2018). [Personlig kommunikation: Swedish passengers departing from Gardemoen airport].
- Axelsson, K., Bell, L., & West, C. (2018). *Att se hela bilden-Del 1: Klimatpåverkan från hushållens konsumtion: Köttkonsumtionen och flyget*. Stockholm:
- Azar, C., & Johansson, D. (2012). Valuing the non-CO2 climate impacts of aviation. *Climatic Change*, 111(3), 559-579. doi:10.1007/s10584-011-0168-8
- Becken, S., & Mackey, B. (2017). What role for offsetting aviation greenhouse gas emissions in a deep-cut carbon world? *Journal of Air Transport Management*, 63, 71-83.
- Boucher, O., Randall, D., Artaxo, P., Bretherton, C., et al. (2013). Clouds and aerosols. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 571-657): Cambridge University Press.
- Cames, M., Graichen, J., Siemons, A., & Cook, V. (2015). *Emission reduction targets for international aviation and shipping*
- Chen, C. C., & Gettelman, A. (2016). Simulated 2050 aviation radiative forcing. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(1), 1-1.
- Christensen, L. (2016). Environmental impact of long distance travel. *Transportation Research Procedia*, 14, 850-859.
- Copenhagen airport (2018, Maj 2018). [Personlig kommunikation: Passenger statistics at Kastrup airport].
- Edwards, R., Larivé, J.-F., Rickeard, D., & Weindorf, W. (2014). *Well-to-Tank Report Version 4. a*. Luxembourg: E. C. J. R. Centre
- Energimyndigheten. (2017). *Statens Energimyndighets föreskrifter om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen*
- Eriksson, M., & Ahlgren, S. (2013). *LCAs of petrol and diesel: a literature review*: Department of Energy and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences.
- EU. (2017). REGULATION (EU) 2017/2392 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 December 2017, amending Directive 2003/87/EC to continue current limitations of scope for aviation activities and to prepare to implement a global market-based measure from 2021.
- European Environment Agency. (2012). TERM 27 Figure 1: Specific CO2 emissions per passenger-km and per mode of transport in Europe, 1995-2011. In.
- EXERGIA S.A., E3M-Lab, & COWI A/S. (2015). *Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosene and natural gas-Final Report*, "European Commission DG ENER, Brussels
- Fichter, C., Marquart, S., Sausen, R., & Lee, D. S. (2005). The impact of cruise altitude on contrails and related radiative forcing. *Meteorologische Zeitschrift*, 14(4), 563-572.
- Gettelman, A., & Chen, C. (2013). The climate impact of aviation aerosols. *Geophysical Research Letters*, 40(11), 2785-2789.
- Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Öman, A., et al. (2011). *Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade Emissionsfaktorer för Bränslen, el, värme och transporter*
- Gössling, S., Cohen, S. A., & Hares, A. (2016). Inside the black box: EU policy officers' perspectives on transport and climate change mitigation. *Journal of Transport Geography*, 57, 83-93.
- Hill, N., Watson, R., & James, K. (2016). *2016 Government GHG conversion factors for company reporting: methodology paper for emission factors*
- IATA. (2015a). *Air Passenger Forecasts Global Report*. Updated. www.iata.org:

- IATA. (2015b). *WATS 59 - World Air Transport Statistics. 2015 Edition*. www.iata.org:
- ICAO. (2008). *Annual Report of the Council: 2007*. www.icao.int:
- ICAO. (2013). *ICAO Environmental Report 2013. Aviation and Climate Change*. In. www.icao.int.
- ICAO. (2014). *ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology*. www.icao.int:
- ICAO. (2015). *Annual Report of the Council: 2014, Appendix 1, Tables relating to the world of air transport in 2014*. www.icao.int: <http://www.icao.int/annual-report-2014/Pages/appendices.aspx>
- ICAO. (2016a). *ICAO Environmental Report 2016. Aviation and Climate Change*
- ICAO. (2016b). *Resolutions adopted by the Assembly. A39-3. Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Global Market-based Measure (MBM) Scheme*. Montreal:
- ICAO. (2018). *Annual Report of the Council: Presentation of 2017 Air Transport Statistical Results* [https://www.icao.int/annual-report-2017/Documents/Annual.Report.2017 Air%20Transport%20Statistics.pdf](https://www.icao.int/annual-report-2017/Documents/Annual.Report.2017%20Air%20Transport%20Statistics.pdf)
- IEA. (2018). Database. World: Oil. Hämtad från <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?year=2013&country=WORLD&product=Oil>
- IPCC. (1999). *Aviation and the global atmosphere–A special report of IPCC working groups I and III. Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hayama, Japan: Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC. (2018). *Global warming of 1.5°C*. Switzerland.
- Ito, H., & Lee, D. (2005). Comparing the impact of the September 11th terrorist attacks on international airline demand. *International Journal of the Economics of Business*, 12(2), 225-249.
- Joos, F., Roth, R., Fuglestad, J. S., Peters, G. P., et al. (2013). Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(5), 2793-2825.
- Jungbluth, N. (2013). *Aviation and Climate Change: Best practice for calculation of the global warming potential*. Zurich:
- Kamb, A., & Larsson, J. (2019). *Climate footprint from Swedish residents' air travel*. Göteborg: <https://research.chalmers.se/publication/508693>
- Kamb, A., Larsson, J., Nässén, J., & Åkerman, J. (2016). *Klimatpåverkan från svenska befolkningens internationella flygresor. Metodutveckling och resultat för 1990 – 2014 (FRT-rapport 2016:02)*. Chalmers
- Kander, A., Jiborn, M., Moran, D. D., & Wiedmann, T. O. (2015). National greenhouse-gas accounting for effective climate policy on international trade. *Nature Climate Change*, 5(5), 431-435.
- Kärcher, B. (2018). Formation and radiative forcing of contrail cirrus. *Nature communications*, 9(1), 1824.
- Knörr, W., & Hüttermann, R. (2016). *EcoPassenger. Environmental Methodology and Data*. Heidelberg/Hannover: I. f. E.-u. Umweltforschung
- Köhler, M. O., Rädcl, G., Dessens, O., Shine, K. P., et al. (2008). Impact of perturbations to nitrogen oxide emissions from global aviation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D11).
- Larsson, J., Elofsson, A., Sterner, T., & Åkerman, J. (2019). International and national climate policies for aviation: a review. *Climate Policy*, 1-13.
- Larsson, J., & Kamb, A. (2018). *Semestern och klimatet. Metodrapport. Version 1.0*. Chalmers:
- Larsson, J., Kamb, A., Nässén, J., & Åkerman, J. (2018). Measuring greenhouse gas emissions from international air travel of a country's residents methodological development and

- application for Sweden. *Environmental Impact Assessment Review*, 72, 137-144.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.013>
- Lee, D. S., Fahey, D. W., Forster, P. M., Newton, P. J., et al. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment*, 43(22), 3520-3537.
- Lee, D. S., Pitari, G., Grewe, V., Gierens, K., et al. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4678-4734.
doi:10.1016/j.atmosenv.2009.06.005
- Masnadi, M. S., El-Houjeiri, H. M., Schunack, D., Li, Y., et al. (2018). Global carbon intensity of crude oil production. *Science*, 361(6405), 851-853.
- Miljömålsberedningen. (2016). *En klimat- och luftvårdsstrategi för Sverige. Delbetänkande av Miljömålsberedningen. SOU 2016:47*. Stockholm, Sweden.
- Moretti, C., Moro, A., Edwards, R., Rocco, M. V., et al. (2017). Analysis of standard and innovative methods for allocating upstream and refinery GHG emissions to oil products. *Applied Energy*, 206, 372-381.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., et al. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. *Climate change*, 423, 658-740.
- Naturvårdsverket. (2008). *Konsumtionens klimatpåverkan*. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (2018a). Flygets klimatpåverkan. Hämtad från
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Flygets-klimatpaverkan/>
- Naturvårdsverket. (2018b). *National Inventory Report Sweden 2018: Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2016*
- Naturvårdsverket. (2018c). Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter. Hämtad från
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/>
- Naturvårdsverket. (2018d). Utsläpp av växthusgaser från utrikes sjöfart och flyg. Hämtad från
<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-utrikes-sjofart-och-flyg/?visuallyDisabledSeries=535f3405776c23fa>
- Rädel, G., & Shine, K. P. (2008). Radiative forcing by persistent contrails and its dependence on cruise altitudes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D7).
- Regeringen. (2018). *Kommittédirektiv. Utredning om styrmedel för att främja användning av biobränsle för flyget Dir. 2018:10*
- Resurs AB. (2014). Database: Turistdatabasen 1990, 2010, 2012, 2013. In. Stockholm, Sweden.
- Scharpenseel, M. F. (2001). Consequences of EU airline deregulation in the context of the global aviation market. *Nw. J. Int'l L. & Bus.*, 22, 91.
- SOU 2016:83. *En svensk flygskatt*.<http://www.regeringen.se>:
- Swedavia (2016, June 2016). [Data från kundenkät: andel svenska passagerare på svenska flygplatser].
- Swedavia (2018a, oktober 2018). [Data från kundenkät: andel svenska passagerare baserat på slutdestination samt transferstatistik].
- Swedavia (2018b, maj 2018). [Data från kundenkät: andel svenska passagerare på svenska flygplatser och medelavstånd].
- Swedavia. (2018c). Destinationsstatistik. In. <https://www.swedavia.se/om-swedavia/statistik/#gref>.
- Swedish Air Transport Society. (2018). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Flygbranschen*.www.regeringen.se:
- Tillväxtverket. (2018a). Svenskarnas resande. In.
- Tillväxtverket. (2018b). *Svenskarnas resande - En jämförande studie*. Stockholm:
- Trafikanalys. (2016). *Inför en flygstrategi - ett kunskapsunderlag. Rapport 2016:4*
- Trafikanalys. (2017). RVU Sverige 2011-2016. Den nationella resvaneundersökningen. In. Stockholm.
- Trafikanalys. (2018). Luftfart 2017. In.
- Trafikverket. (2018). *Minskade utsläpp men snabbare takt krävs för att nå klimatmål*

- Transportstyrelsen. (2016). Tidsserier flygplatser. In. www.transportstyrelsen.se. Retrieved May 10, 2016.
- Transportstyrelsen. (2018a). Flygets utsläpp. Hämtad från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Klimat/Flygets-klimatpaverkan/Flygets-utslapp/>
- Transportstyrelsen. (2018b). Luftfart - Bilaga C Emissionsberäkningar utfall 2017 In.
- Transportstyrelsen (2018c, Juni 2018). [Personlig kommunikation: Flygplatspar till första landingsflygplats utomlands].
- UNEP. (2018). *The Emissions Gap Report 2018. A UN Environment Synthesis Report*
- UNFCCC. (1996a). *Communications from Parties included in Annex I to the Convention- Guidelines, schedule and process for consideration - Addendum 1*. Geneva, Switzerland: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice.
- UNFCCC. (1996b). *Communications from Parties included in Annex I to the Convention- Guidelines, schedule and process for consideration - Addendum 2*. Geneva, Switzerland: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice.
- UNFCCC. (2014). *Report of the Conference of the Parties on its Nineteenth Session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013, Addendum, Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its nineteenth session*
- UNFCCC. (2018). Greenhouse Gas Inventory Data.
- Unnasch, S., & Riffel, B. (2015). *Review of Jet Fuel Life Cycle Assessment Methods and Sustainability Metrics*
- Velzen, A., & Wit, R. (2000). National allocation of international aviation and marine CO₂-emissions-A study commissioned by the Dutch Civil Aviation Authority. *Centre for energy conservation and environmental technology (CE)*, Delft, the Netherlands.
- Wit, R. C., Dings, J. M., Mendes de Leon, P., Thwaites, L., et al. (2002). *Economic incentives to mitigate greenhouse gas emissions from air transport in Europe*. Delft, the Netherlands:
- Wood, F., Bows, A., & Anderson, K. (2010). Apportioning aviation CO₂ emissions to regional administrations for monitoring and target setting. *Transport Policy*, 17(4), 206-215.
- Zhou, C., & Penner, J. E. (2014). Aircraft soot indirect effect on large-scale cirrus clouds: Is the indirect forcing by aircraft soot positive or negative? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(19).
- Åkerman, J. (2012). Climate impact of international travel by Swedish residents. *Journal of Transport Geography*, 25, 87-93. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.07.011
- Åkerman, J., Larsson, J., & Elofsson, A. (2016). *Svenska handlingsalternativ för att minska flygets klimatpåverkan*
- Österström, J. (2016). *Luftfartens marginalkostnader: en delrapport inom Samkost 2*

6 Slutkommentarer

Utrikes

ⁱ Här inkluderas de så kallade höghöjdseffekterna. I policydiskussioner är det dock viktigt att ha kunskap om att koldioxid har effekt under mycket lång tid medan höghöjdseffekterna har effekt under kort tid. För styrmedel som syftar till att minska utsläpp genom dämpade volymer så är detta oproblematiskt då detta minskar både CO₂-utsläppen och höghöjdseffekterna. Eventuella styrmedel som syftar till att minska höghöjdseffekterna, men på bekostnad av ökade CO₂-utsläpp (t.ex. ändrade flygvägar), innebär en svårare avvägning som inte fullt ut kan fångas av GWP-måttet.

ⁱⁱ "Bunkringsmåttet" ger också en viss bild av detta, men den är inte lika heltäckande då den inte omfattar svenskarnas flygande som avgår från t.ex. Danmark och då det omfattar utländska medborgares flygande från Sverige.

ⁱⁱⁱ Radiative Forcing (RF), översätts ibland med strålningsdrivning, definieras enligt IPCC som förändringen i nettostrålning vid tropopausen efter att stratosfäriska temperaturer har justerats till strålningsjämvikt, medan ytans och troposfärens temperaturer och tillståndsvARIABLER (såsom vattenånga och molntäcke) hålls konstanta vid de ouppvärmade värdena (Myhre et al., 2013).

^{iv} Effective Radiative Forcing (ERF) tar även hänsyn till snabba justeringar i troposfären, och är i regel ett bättre mått på den potentiella klimateffekten än vad Radiative Forcing är (Myhre et al., 2013).

^v Global Warming Potential med 100 års horisont.

^{vi} Dock är inte kortlivade klimatpåverkande ämnen med (eller centrala) i dessa förhandlingar.

^{vii} <https://research.chalmers.se/publication/506746>

^{viii} Baserat på passagerarundersökning gjorda på Stockholm/Arlanda, Stockholm/Bromma, Göteborg/Landvetter, Luleå, Malmö och Umeå Airport. För övriga flygplatser, där ingen undersökning har genomförts, antogs medlet för flygplatserna i Umeå och Luleå då dessa är av jämförbar storlek. För mer detaljer om Swedavias passagerarundersökning se Appendix B.1.2.

^{ix} Även andra mindre flygplatser, t.ex. Torp i Norge, kan vara aktuella men dessa beaktas ej i denna utredning.

^x Data inkluderar här endast de som startar sin resa på dessa flygplatser, inte transferpassagerare, och resor till Sverige exkluderas i möjligaste mån då dessa fångas i data från de svenska flygplatserna.

^{xi} Se <https://chrome.google.com/webstore/detail/geocode-by-awesome-table/cnhboknahecjdnkjinlodacdjelippfg?hl=en>

^{xii} Storcirkelavståndet (GCD) definieras som den kortaste sträckan mellan två punkter, med koordinater (lat1, lon1) och (lat2, lon2), på ytan av en sfär. Det ges av: $GCD = R \cos^{-1}[\sin(\text{lat1})\sin(\text{lat2}) + \cos(\text{lat1})\cos(\text{lat2})\cos(\text{lon1}-\text{lon2})]$, där R är jordens radie. $R = 6371,01$ km.

^{xiii} I vissa utsläppskalkylatorer läggs ett extra avstånd på ca 50 km till för att ta hänsyn till avvikelser från storcirkelavståndet. Eftersom vi använder beräkningar för utsläpp per personkilometer som är baserat på storcirkelavståndet så lägger vi inte till något extra avstånd.

^{xiv} <https://research.chalmers.se/publication/506746>

^{xv} För utrikesresorna har resvolymen beräknats genom att multiplicera antalet resor med medelavståndet. För inrikesresorna finns statistik tillgänglig för 1995 och 1997-2017 (Transportstyrelsen, 2018b). För övriga år har resvolymen uppskattats genom att extrapolera medelavståndet för inrikesresor och multiplicera det med antalet passagerare (där det finns data för samtliga år). Det intuitiva hade varit att extrapolera antalet pkm rakt av, men eftersom 1990 var ett rekordår för antalet passagerare inom

inrikesflyget skulle antalet pkm i så fall underskattas avsevärt, därav omvägen via medelavstånd och antalet passagerare.

xvi Passagerarna uppskattas stå för 95% av utsläppen mellan 1990–2017 (övrigt är frakt).

xvii Egen beräkning baserat på Christensen (2016).

xviii Dessa resultat överensstämmer relativt väl med resultaten från vår förra rapport som täckte utvecklingen fram till 2014. Utsläppen är dock något lägre pga. det något kortare medelavståndet och nedjusteringen av de globala siffrorna för utsläpp per person-km (se Appendix A).

xix Enligt Naturvårdsverket och SCB (2017) var utsläppen från personbilar i Sverige 10,3 Mt CO₂-ekvivalenter 2016. Utsläpp från utländska invånares bilresande i Sverige borde dras bort, vi saknar dock data för detta. Svenska invånare resor med personbilar utomlands bör läggas till och de motsvarar 0,3 Mt CO₂-ekvivalenter 2016. Sammantaget ligger dock utsläppen från bilresandet nära utsläppen från svenska invånares flygresande. Viktigt att poängtera här är att detta endast är personbilstransporter, inte all vägtrafik, och att det inte innefattar fullständiga livscykelutsläpp (vilket inte heller flygutsläppen gör).

xx Egna beräkningar baserat på Tillväxtverket (2018a) och Trafikanalys (2017). Ingen hänsyn är dock tagen till att tjänsteresor ibland sker i business class där utrymmet per passagerare är större.

xxi Baserat på beräkningar av den globala statistiken som beskrivs i Appendix A.

xxii För utrikespassagerare på Arlanda var 61% svenska invånare år 2000 medan andelen år 2017 var 52%.

xxiii Data för 2016 och 2017 fanns inte tillgänglig vid publikation av denna rapport, så för dessa år gjordes en extrapolation.

xxiv ICAOs data innehåller endast data från reguljär trafik hos medlemsländer, se <http://www.icao.int/MemberStates/Member%20States.Multilingual.pdf>

xxv ICAO beräknar den totala vikten av passagerare, bagage, säten, toaletter etc. som $100\text{kg} \cdot \text{antal passagerare (pass.)} + 50\text{kg} \cdot \text{antal säten (säten)}$. Med en kabinfaktor på $\frac{\text{pass}}{\text{säten}} = 80\%$ blir vikten per passagerare $\frac{100\text{kg} \cdot \text{pass} + 50\text{kg} \cdot \text{seats}}{\text{pass}} = 100\text{kg} + 50\text{kg} \cdot \frac{1}{\text{kabinfaktor}} = 162\text{ kg}$, med andra ord samma som Wit et al. (2002).

xxvi <http://research.chalmers.se/publication/506746>

xxvii Denna siffra publiceras årligen av Trafikanalys. För beräkningen så ska antalet utrikespassagerare per flygplats föras in i excel-filen "Beräkningar - Klimatpåverkan från svenska befolkningens internationella flygresor" under flik "2.1 Int pass per airport".

xxviii Utvecklingen när det gäller dessa parametrar är relativt stabil och en linjär utveckling är sannolik för en viss tid framöver (nämnda parametrar har historiskt en R² på mellan 0,6 och 0,9).

xxix Möjligen finns det också andra flygplatser som borde ingå, t.ex. Torp i Norge.

xxx Egna beräkningar baserade på Transportstyrelsens data (Transportstyrelsen, 2018c)

xxxi Destinationen utomlands anges på detaljnivån *land* i Svenskarnas resande, och för Spanien, som är den uteslutande vanligaste destinationen, är avståndet är ca 2400 km till spanska fastlandet och 4100 km till Kanarieöarna. Därför har avståndet justerats till 3000 km, baserat på data från Resurs AB för 2013. För de destinationer som är angivna högst fem gånger i Svenskarnas resande anges endast "Övriga Europa" eller "Utom-Europa". De resor som går till Övriga Europa står för mindre än 1% av resorna, medan Utom-Europa står för ca 6%. Avståndet för dessa resor har därför angetts som medelavståndet för "Övriga Europa" respektive "Utom-Europa", vilket resulterade i 2100 km inom Europa och 7300 km utanför Europa.

xxxii Egna beräkningar baserat på Trafikanalys (2017).

Version: December 6, 2018