

Ekonomitankning vid flygplatser

Beräkningsunderlag

Samuel Lindgren
Magnus Johansson

The logo for VTI (Västra Transportinfrastrukturinstitutet) consists of the lowercase letters 'vti' in a bold, sans-serif font. A vertical red line is positioned to the left of the logo.

VTI PM
D.nr.: 2020/0300-7.4
Utgivningsår 2020
vti.se/publikationer

1. Inledning

VTI har på uppdrag av Transportstyrelsen tagit fram beräkningar som visar i vilken utsträckning flygbolag väljer att ekonomitanka vid olika nivåer av prispåslag på fossilt flygbränsle i Sverige relativt andra länder. Med ekonomitankning avses att en operatör väljer att tanka extra mycket bränsle i det land där bränslet är billigast för att därmed reducera den bränslemängd som behövs till returresan.

1.1. Syfte

Analysen förväntas visa vid vilka skillnader i pris på fossilt flygbränsle i Sverige och ett urval av andra länder som flygbolag väljer att ekonomitanka samt i vilken omfattning detta görs. Analysen bygger på beräkningar för ett antal av de vanligaste flyglinjerna till/från Sverige, en utrikeslinje som betjänar två svenska flygplatser samt en beräkning som belyser möjligheten för flygbolag att för inrikes flygresor ersätta Malmö flygplats med Köpenhamns flygplats för att därigenom kunna ekonomitanka.

1.2. Metod

1.2.1. Modellbeskrivning

Omfattningen av ekonomitankning vid olika skillnader i pris på flygbränsle analyseras med en beräkningsmodell som beaktar de kostnader ett flygbolag har för att flyga tur och retur mellan två flygplatser. Kostnaderna utgörs av bränslekostnader, undervägs-, terminal- och flygplatsavgifter samt kostnader för koldioxidutsläpp kopplade till EU:s system för handel med utsläppsrätter (ETS) och ICAO:s globala klimatstyrmedel (Corsia). Bränslepriset i Sverige är lika med bränslepriset i utlandet plus ett procentuellt påslag som vi betecknar τ .

I modellen definieras en flygrutt som en flygning från en utländsk flygplats till en svensk flygplats och sedan tillbaka. För varje flygrutt som lagts in i modellen har kostnaderna för ett basscenario beräknats, det vill säga kostnaden vid olika nivåer av prispåslag utan någon ekonomitankning. I basscenario tankas planet enbart med den mängd bränsle som krävs för att klara sträckan från avgångsflygplats till destination (utöver reservbränsle och bränsle för taxning). Samma bränslemängd tankas sedan inför returresan.

För samma flygrutt beräknar vi sedan kostnaderna när flygbolaget använder sig av ekonomitankning, det vill säga då flygbolaget tankar mer bränsle än nödvändigt inför flygningen från utlandet till Sverige för att därmed reducera behovet av tankning inför returresan. Omfattningen av ekonomitankning anges som andelen av bränslet på returresan som redan har tankats i utlandet, och betecknas som α . Andelen varierar mellan 0 och 1 — vid en andel på 1 har allt bränsle som används på resan från Sverige till utlandet redan tankats i utlandet.

Vi beaktar tre typer av kapacitetsbegränsningar för ekonomitankning:

1. Flygplanets tankkapacitet får inte överstigas av summan av bränslet som krävs för flygningen, det ekonomitankade bränslet, reservbränslet och bränslet som används för taxning.
2. Den högsta tillåtna vikten vid start får inte överstigas av summan av flygplansvikten, nyttolastvikten (d.v.s. passagerare, bagage och frakt), bränslet som krävs för flygningen, det ekonomitankade bränslet, reservbränslet och bränslet som används för taxning.
3. Den högsta tillåtna vikten vid landning får inte överstigas av summan av flygplansvikten, nyttolastvikten, det ekonomitankade bränslet och reservbränslet.

Ekonomitankning påverkar flygbolagens kostnader på två sätt. Extrabränslet på flygningen från utlandet till Sverige ger en högre flygplansvikt än i basscenario och ökar därmed bränsleförbrukningen och kostnaden för bränsle och koldioxidutsläpp. Extrabränslet innebär samtidigt att flygplanet inte behöver tankas lika mycket som i basscenario inför flygningen från Sverige till utlandet. Vid ett prispåslag på

flygbränsle i Sverige medför ekonomitankning en kostnadsbesparing på returreisan, en besparing som ökar med nivån på prispåslaget.

Den optimala graden av ekonomitankning (α^*) är den som medför de lägsta totalkostnaderna för tur- och returreisan och samtidigt uppfyller kapacitetsbegränsningarna. Är den optimala graden lika med noll sker ingen ekonomitankning. Den optimala graden ekonomitankning vid ett visst prispåslag τ betecknas: $\alpha^*(\tau)$.

Vi genomför beräkningar för ett urval av flygrutter och aggregerar sedan resultaten på följande sätt. För varje flygrutt i beräknar vi antalet kilo ekonomitankat bränsle (f_i^*) genom att multiplicera den optimala graden ekonomitankning (α^*) med antal kilo bränsle som krävs för flygningen från Sverige till utlandet i basscenariot (\bar{B}_i):

$$f_i^*(\tau) = \alpha^*(\tau) \times \bar{B}_i$$

Antalet kilo varierar med prispåslaget på flygbränsle τ eftersom den optimala graden ekonomitankning varierar med prispåslaget. Vi multiplicerar antalet kilo med antalet avgångar på flygrutten under 2019 (N_i) för att beräkna årstotalen på flygrutten (F_i^*):

$$F_i^*(\tau) = N_i \times f_i^*(\tau)$$

Sedan summerar vi årstotalen på varje flygrutt över alla rutter som ingår i modellen för att beräkna det totala antalet kilo bränsle som ekonomitankats:

$$TOT(\tau) = \sum_i F_i^*(\tau)$$

Till sist dividerar vi den totala mängden bränsle som ekonomitankats med den totala mängden bränsle som hade krävts på flygningarna från Sverige till utlandet om ingen ekonomitankning hade skett:

$$A(\tau) = \frac{TOT(\tau)}{\sum_i \bar{B}_i}$$

I resultatdelen presenterar vi hur andelen ekonomitankning $A(\tau)$ varierar med olika nivåer av påslag på priset på flygbränsle i Sverige τ .

1.2.2. Flygsträckor

Tabell 1 visar vilka flygsträckor och flygplanstyper som ingår i våra beräkningar. Flygningar på de åtta sträckorna i utrikestrafik utgjorde en femtedel av samtliga utrikesflygningar i linjefart 2019 (Transportstyrelsen 2020).¹

I analysen ingår också en flygrutt för inrikes trafik. Vi beräknar sannolikheten att avgångsorten på flygrutten Malmö-Stockholm flyttar från Malmö till Köpenhamn för att därigenom möjliggöra ekonomitankning vid ett prispåslag på flygbränslet i Sverige. Det relativt korta avståndet mellan Malmö-Sturup och Köpenhamn-Kastrup gör en sådan flytt möjlig.

Vi gör mindre modifikationer av beräkningsmodellen för att genomföra denna analys. Vi beräknar först kostnaden för en tur- och returflygning Malmö-Stockholm och sedan kostnaden för en tur- och returflygning Köpenhamn-Stockholm när flygbolaget använder sig av den optimala graden av

¹ På kedjan av flygningar Köpenhamn-Stockholm-Umeå kan bränslet som ekonomitankats i Köpenhamn användas på samtliga av de efterföljande sträckorna. På kedjan Singapore-Moskva-Stockholm antar vi att ekonomitankning sker i Moskva inför flygningen från Moskva till Stockholm för att sedan användas på flygningen från Stockholm till Moskva.

ekonomitankning. Vi antar att avgångsorten flyttar från Malmö till Köpenhamn om kostnaden för tur- och returflygningen är lägre när avgångsorten är Köpenhamn. I denna analys bortser vi från andra faktorer som kan påverka beslutet att flytta avgångsort. Exempelvis har Köpenhamn-Kastrup många fler anslutande avgångar än Malmö-Sturup och det kan finnas fördelar med detta kopplat till personal och passagerarunderlag. För majoriteten av flygplatser i Sverige saknas en närliggande flygplats i utlandet med tillräckligt bra marktransporter. Resultatet från denna analys ska därför inte ses som representativt för all inrikes trafik i Sverige. Generellt är det svårare att utnyttja ekonomitankning för inrikestrafik. Det kan utnyttjas då en utrikes flygning följs av en inrikes, vilket i denna analys representeras av linjen Köpenhamn-Stockholm-Umeå. För merparten av inrikeslinjerna finns ingen möjlighet att ekonomitanka.

Tabell 1. Sträckor och flygplanstyper

Sträcka	Vanligaste flygplanstypen 2019	Medel-antal säten	Antal avgångar 2019	Avstånd (km)
Utrikes				
Skavsta-Gdansk	A320; Airbus A320	155	1 003	499
Köpenhamn-Stockholm	B738; Boeing 737-800	174	6 065	546
Oslo-Stockholm	B738; Boeing 737-800	174	6 311	383
Köpenhamn-Stockholm-Umeå	A20N; Airbus A 320 NEO	165	1 300	1 021
Helsingfors-Stockholm	CRJ9; Bombardier J900	83	6 009	398
London-Stockholm	A20N; Airbus A 320 NEO	165	5 086	1 466
Frankfurt-Stockholm	A320; Airbus A320	155	2 685	1 223
Singapore-Moskva-Stockholm	A359; Airbus A350-900	325	261	9 614
Inrikes				
Malmö-Stockholm	A320; Airbus A320 NEO	165	2 904	531

Källa: Transportstyrelsen², ICAO Carbon Emission Calculator (2020) och egna beräkningar

1.3. Indata och modellantaganden

1.3.1. Bränsleförbrukning

Vi modellerar bränsleåtgången på varje flygning genom att utgå från en nivå på bränsleförbrukningen i basscenariot, \bar{B} . \bar{B} anger antal kilo bränsle som krävs för flygningen när ingen ekonomitankning sker och är lika stor vid flygningen från utlandet till Sverige som vid returresan.

Vi antar sedan att varje extra kilo ekonomitankat bränsle gör att bränsleförbrukningen ökar med ett visst bränslepåslag per flygtimme. Utöver \bar{B} krävs därmed en extra mängd bränsle för att klara den första etappen (det ekonomitankade bränslet är reserverat för returresan). Vi antar att bränslepåslaget ökar med andelen ekonomitankat bränsle enligt $\delta \times (1 + \alpha)$, där δ är en viktfaktor. Det innebär att en mindre mängd ekonomitankning leder till ett lägre bränslepåslag än en större mängd. Den totala bränsleåtgången för flygningen från utlandet till Sverige när graden av ekonomitankning är α ges därmed av

$$B(\alpha) = \bar{B} + [\alpha \times \bar{B} \times \delta \times (1 + \alpha) \times h]$$

Där h anger flygtiden i timmar och $\alpha \times \bar{B}$ är antalet kilo ekonomitankat bränsle. Eftersom ingen ekonomitankning sker i Sverige ($\alpha = 0$) ges den totala bränsleförbrukningen för flygningen från Sverige till utlandet av \bar{B} .

² Utredare vid Transportstyrelsen, kommunikation via e-post 4 juni 2020 och 23 juni 2020.

I denna studie analyseras flygningar med medelstora jetplan på distanser mellan 500 och 1500 kilometer. Skattningar av bränslepåslaget per timme för dessa typer av flygningar ligger vanligtvis mellan 3 och 6 procent (Fregagni och Correia 2012; Morris 2006). Vi sätter därför vikt faktorn δ till 3 procent, vilket innebär att bränslepåslaget är 3,03 procent per timme när andelen ekonomitankning är 1 procent [$3 \times (1 + 0,01) = 3,03$], 6 procent per timme när andelen ekonomitankning är 100 procent [$3 \times (1 + 1) = 6$] och värden däremellan när andelen ekonomitankning är mellan 1 och 100 procent.

Vi hämtar information om flygtiden för varje flygning (h) från SAS och Ryanairs hemsidor. Information om bränsleförbrukningen \bar{B} för varje flygning kommer från ICAO:s Carbon Emission Calculator, som är ett verktyg för att beräkna flygets koldioxidutsläpp. Verktöget baseras på genomsnittsvärden för olika flygplansdata insamlat från flygindustrin (ICAO 2018). Bränsleförbrukningen anges i kilo och gäller för en flygning mellan två givna flygplatser med ett flygplan med ett specificerat antal passagerare.

I praktiken beror bränsleåtgången på en rad faktorer såsom vikt, hastighet, flyghöjd, avstånd och atmosfäriska förhållanden. Ett alternativt tillvägagångssätt för att bestämma bränsleåtgången är att använda sig av Brequets (1923) avståndsformel i vilken bränsleförbrukning kan relateras till avstånd, hastighet och parametervärden som bland annat beskriver luftmotstånd och lyftkraft (Lee et al., 2001, Randle et al., 2011, Singh and Sharma, 2015). Alternativa ansatser för att bestämma hur bränsleförbrukningen påverkas av vikt inkluderar flygsimulering och skattningar av sambandet genom regressionsanalys (O’Kelly 2012). Dessa ansatser kräver dock ytterligare verktyg och indata. Metoden som vi tillämpar har fördelen att den baseras på ett externt verktyg som är allmänt tillgängligt vilket innebär färre antaganden i våra beräkningar.

1.3.2. Kapacitetsrestriktioner

I modellen begränsas graden av ekonomitankning av tre villkor. Det första är att den totala mängden tankat bränsle $[TB(\alpha)]$ inte får överstiga flygplanets tankkapacitet (TB^{max}):

$$TB^{max} \geq TB(\alpha)$$

Information om tankkapacitet per flygplanstyp har vi fått av Transportstyrelsen.³ Den totala mängden tankat bränsle $[TB(\alpha)]$ utgörs av bränsleförbrukningen för flygningen $B(\alpha)$, bränsle för taxning från gate till startbana (T) och reservbränsle (R). Reservbränslet beräknar vi som summan av alternativbränsle (A), sista reserv (S) och beredskapsbränslet (som vi antar är 5 procent av bränsleförbrukningen för flygningen). På flygningar från utlandet till Sverige ingår dessutom mängden ekonomitankat bränsle ($\alpha \times \bar{B}$):

$$\begin{aligned} TB(\alpha) &= T + B(\alpha) + R + \alpha \times \bar{B} \\ &= T + B(\alpha) + (0,05 \times B(\alpha) + A + S) + \alpha \times \bar{B} \end{aligned}$$

Eftersom ingen ekonomitankning sker i Sverige ($\alpha = 0$, $B(\alpha) = \bar{B}$) ges den totala bränslemängden för flygningen från Sverige till utlandet av $TB = T + \bar{B} + R$. Vi antar att bränsle för taxning är 200 kg för alla flygplanstyper. Uppgifter om alternativbränsle (A) och sista reserv (S) per flygplanstyp kommer från Transportstyrelsen.⁴

Det andra villkoret som begränsar graden av ekonomitankning är att summan av det tankade bränslet $[TB(\alpha)]$, flygplansvikten (W) och nyttolasten (NL) inte får överstiga den högsta tillåtna vikten vid start V_{start}^{max} :

$$V_{start}^{max} \geq TB(\alpha) + W + NL$$

³ Flyginspektör vid Transportstyrelsen, kommunikation via e-post 15 juni 2020.

⁴ Ibid.

Från Transportstyrelsen⁵ har vi fått information om flygplanstypernas vikt (W). Högsta tillåtna landningsvikt ($V_{\text{start}}^{\text{max}}$) kommer från Skyplan Services (2018). Nyttolasten (NL) utgörs av vikten för passagerare PAX samt frakt och post FP . Vi beräknar vikten för frakt och post som 2 kilo per medelantal säten (Z), där uppgifter om säten per flygplanstyp kommer från Transportstyrelsen.⁶ Det innebär att flygplanen bär med sig mellan 160 och 650 kilo frakt i genomsnitt. Vi beräknar passagerarvikten PAX som medelantalet säten multiplicerat med 105 kilo, d.v.s. medelvikten på en vuxen passagerare med bagage (88 kg+ 17 kg) enligt surveyundersökningar (NEA 2009). Nyttolasten ges därmed av:

$$NL = PAX + FP = 105 \times Z + 2 \times Z = 107 \times Z$$

Det tredje villkoret är att summan av det ekonomitänkade bränslet, ($\alpha \times \bar{B}$), reservbränslet (R), flygplansvikten (W) och nyttolasten (NL) inte får överstiga den högsta tillåtna vikten vid landning ($V_{\text{land}}^{\text{max}}$):

$$V_{\text{land}}^{\text{max}} \geq \alpha \times \bar{B} + R + W + NL$$

Information om flygplanstypernas högsta tillåtna vikt vid landning ($V_{\text{land}}^{\text{max}}$) kommer från Transportstyrelsen.⁷

1.3.3. Priser

Vi antar ett och samma pris på fossilt flygbränsle i utlandet, 10 kronor per kilo: $p_f = 10$. Vi definierar prispåslaget i Sverige som ett procentuellt påslag och betecknar procentsatsen τ . Slutpriset på fossilt flygbränsle som tankas i Sverige ges därmed av

$$p_f \times (1 + \tau)$$

Priset på fossilt flygfotogen (Jet A1) var omkring 8 kronor per kilo under 2019. Vårt pris ligger därför något högre än genomsnittet under 2019. Ett pris på 10 kronor förenklar dock översättningen av prispåslaget från procentsats till kronor.

Medan vi antar ett och samma bränslepris i utlandet kan priset i praktiken variera mellan (och inom) länder. Dessutom kan flygbolag ingå avtal med bränsleleverantörer som innebär lägre bränslepris i ett land jämfört med andra länder eller utjämnar existerande prisskillnader, exempelvis med hjälp av terminskontrakt. Dock anser vi det sannolikt att ett prispåslag på bränslet i Sverige ändrar relativpriserna, antingen direkt eller genom högre kostnader för flygbolagen att utjämna prisskillnaderna.

Priset på koldioxidutsläpp inom EU ETS låg under 2019 mellan 19 och 30 euro per ton koldioxid (Quandl 2020). ICAO:s prognos för koldioxidpriset inom Corsia ligger mellan 8 och 40 euro per ton koldioxid (ICAO 2020). Det föreligger dock osäkerheter i om och i så fall hur Corsia och EU ETS ska kombineras. Vi antar därför ett pris på utsläppsrätter (p_{CO_2}), 300 kronor per ton koldioxid, som är tänkt att spegla utsläppskostnader relaterat till både Corsia och EU ETS:⁸

$$p_{CO_2} = 300$$

1.3.4. Avgifter

De avgifter (π) som flygbolagen betalar utgörs av flygplatsavgifter (FA) och undervägsavgifter (UA):

$$\pi = FA + UA$$

⁵ Flyginspektör vid Transportstyrelsen, kommunikation via e-post 15 juni 2020.

⁶ Ibid.

⁷ Ibid.

⁸ Vi antar att inga kostnader för utsläpp uppstår på ruten Singapore-Moskva-Stockholm. Ruten ingår inte i EU ETS och kommer sannolikt inte att bli aktuell för Corsia innan 2027.

Undervägsavgiften (UA) beräknas som:

$$UA = p \times \frac{d}{100} \times \sqrt{\frac{(V_{start}^{max} \times 1000)}{50}}$$

där p betecknar enhetsavgiften på 500 kronor, d avståndet i kilometer mellan flygningens ändpunkter subtraherat med 20 och $(V_{start}^{max} \times 1000)$ är flygplanets högsta tillåtna startvikt i ton (Transportstyrelsen 2018).

Flygplatsavgifterna (FA) för varje flygplats och flygplanstyp i modellen är de senast gällande vid tidpunkten för detta arbete och enligt vad som specificeras på respektive flygplats hemsida. Det finns ingen enhetlig standard för flygplatsavgifter utan nivån på avgifterna sätts i regel av nationella myndigheter. Inom ICAO har medlemmarna enats om en policy för avgifter som förenklat fastställer likabehandling av flygbolag och att avgifterna ska spegla flygplatsernas faktiska kostnader. Kostnaderna ska också kunna redovisas på ett transparent sätt. Principerna fastslås i *Convention on International Civil Aviation* (Doc 7300), artikel 15, samt *Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services* (Doc 9082). Inom EU har ett direktiv tagits fram (*Directive 2009/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 March 2009 on airport charges*) med syfte att säkerställa tydlighet i vilka kostnader som avgifter avser täcka, att samma service ska ge samma avgifter oavsett flygbolag, att det ska finnas stöd på flygplatserna för att konsultera bolag samt att medlemsstater ska erbjuda övervakning och medling via oberoende myndighet. Utöver dessa riktlinjer är det möjligt att sätta avgifter för att exempelvis öka användningen av en flygplats eller gynna flygplan med bra miljöprestanda. I uppdragsbeskrivningen till detta uppdrag önskades en åtskillnad mellan flygplatsavgift och terminalavgift. Vi har dock haft svårt att på något jämförbart sätt särskilja avgifter som kopplas till terminalhantering från avgifter som kan kopplas till drift och underhåll av flygplatser. Avgifterna samlas därför under begreppet flygplatsavgift.

Flygplatsavgifterna är generellt beroende av antal passagerare, flygplansmodell och motoralternativ och de relateras i huvudsak till kostnader för terminalinfrastruktur samt start- och landningsbanor, hantering av passagerare och bagage samt säkerhet.

De flygplanstyper, motoralternativ och det antal passagerare som använts till genomförda avgiftsberäkningar framgår av Tabell 2. Uppgifter om antal passagerare har lämnats av Transportstyrelsen och uppgift om vanligaste motoralternativ har hämtats från EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidbook 2019.

Tabell 2. Flygplanstyper, motoralternativ och passagerarantal som använts vid beräkning av flygplatsavgifter

Flygplan	Motor	Antal passagerare
A320	CFM56-5B4/P	155
A320 neo	CFM LEAP-1A26	155/165
B738	CFM56-7B26	174
CRJ9	GE CF34-8C5	83
A359	TRENT XWB-84	325

Använda avgifter redovisas i Tabell 3. I de fall det varit möjligt har avgifterna beräknats med den kalkylator som erbjuds på flygplatsen alternativt ansvarig myndighets hemsida. Detta gäller de svenska flygplatserna samt Köpenhamn. Även Frankfurt erbjuder en kalkylator, men denna fungerade inte vid tillfället för denna studie. I övrigt har avgifterna räknats för hand enligt det reglemente som funnits publicerat på respektive flygplats hemsida. I de fall emissionsfaktorer för använd motor har behövts har dessa hämtats från ICAO Aircraft Engine Emissions Databank och i de fall tidsåtgång och gaspådrag för en start- och landningscykel har behövts har vi utgått ifrån ICAO:s standardiserade cykel. De

valutakurser som använts är 10,49 SEK per EUR, 0,98 SEK per NOK, 2,34 SEK per PLN, 1,4 SEK per DKK, 11,62 SEK per GBP och 9,16 SEK per USD.

Tabell 3. Start- och landningsavgifter för olika flygplatser och flygplanstyper

Flygplats \ flygplan	A320	A320 neo (pax 155)	A320 neo (pax 165)	B738	CRJ9	A359
Arlanda	31 150	30 300	31 900	34 500	16 690	67 130
Malmö		23 490				
Skavsta	32 860					
Köpenhamn		38 770		41 530		
Helsingfors					15 600	
Oslo				25 380		
Frankfurt	44 880					
Heathrow			50 120			
Gdansk	25 200					
Domodevodo						111 930

Avgifterna ska ses som ungefärliga eftersom det kan finnas tillkommande avgifter som inte fångas upp av de kalkylverktyg som erbjuds och det har gjorts tillkommande antaganden om att flygrörelserna sker utan transferpassagerare, att det inte krävs avisning, extra parkering och så vidare. Avgifterna har dock begränsad inverkan på beräkningen av nivån på ekonomitankning med undantag av fallet då vi studerar möjligheten att använda Köpenhamn som substitut för Malmö flygplats (för att kunna utnyttja ekonomitankning vid inrikesresor till/från Malmö). I detta fall gör den lägre avgiften på Malmö flygplats att det krävs ett relativt kraftigt prispåslag i Sverige innan det blir lönsamt att byta flygplats och ekonomitanka.

1.3.5. Kostnader

Flygbolagens totalkostnad (TC) för en tur- och returflygning ges av summan av operativa kostnader C_o och avgifter π :

$$TC = C_o + \pi$$

De operativa kostnaderna utgörs i sin tur av bränslekostnader C_o^{fuel} och kostnader för koldioxidutsläpp inom EU ETS eller Corsia (C_o^{CO2}):

$$C_o = C_o^{fuel} + C_o^{CO2}$$

Bränslekostnaderna består av kostnaden för bränslet som används på resan från utlandet till Sverige, $p_f \times B(\alpha)$, kostnaden för bränslet som tankats i utlandet men används på returren från Sverige till utlandet, $\alpha \times \bar{B} \times p_f$, och kostnaden för bränslet som tankats i Sverige och används på returren från Sverige till utlandet, $(1 - \alpha) \times \bar{B} \times p_f \times (1 + \tau)$:

$$C_o^{fuel} = p_f \times B(\alpha) + \alpha \times \bar{B} \times p_f + (1 - \alpha) \times \bar{B} \times p_f \times (1 + \tau)$$

Kostnaderna för koldioxidutsläpp inom EU ETS och Corsia utgörs av priset på koldioxidutsläpp multiplicerat med koldioxidutsläppen som bränsleförbrukningen medför. Vi har utgått ifrån att varje kilo förbrukat flygbränsle ger upphov till utsläpp av 3,15 kilo koldioxid.

$$C_o^{CO2} = p_{CO2} \times \frac{3,15}{1000} B(\alpha) + p_{CO2} \times \frac{3,15}{1000} \bar{B}$$

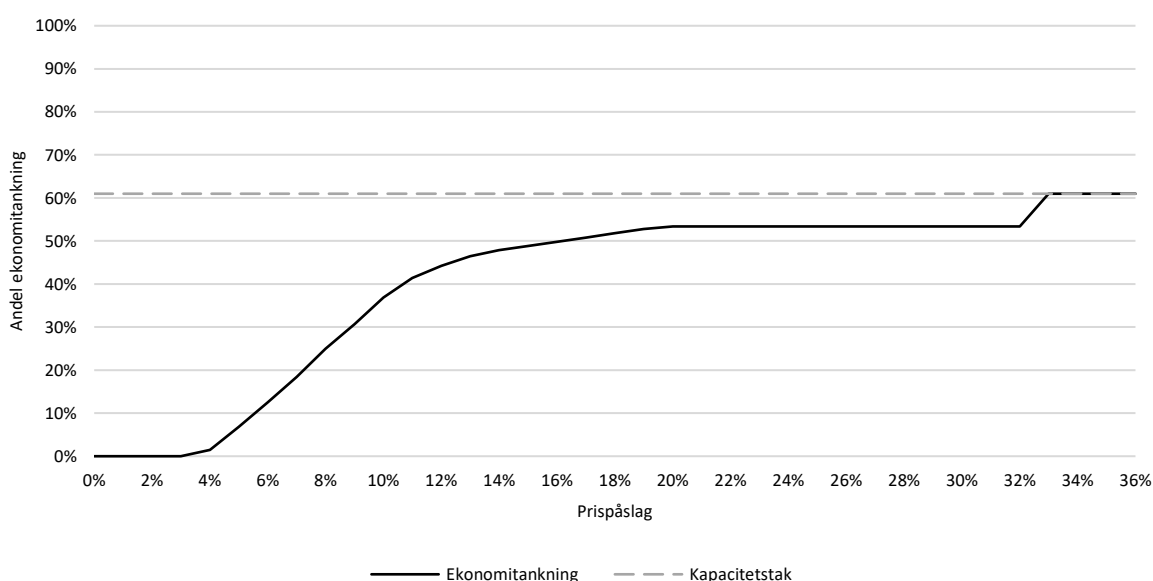
Det kan också finnas andra kostnader associerade med ekonomitankning. Extrabränslet kan kylas ner under flygning och leda till frost på vingarna som sedan måste tas bort när planet har landat, även om det är plusgrader på marken. Ekonomitankning skulle i detta fall öka kostnaderna för avisning. Å andra sidan kan ekonomitankning förkorta väntetiden för tankning i Sverige och därmed minska kostnaderna för dessa. På grund av stor osäkerhet i effektsambanden mellan ekonomitankning och kostnaderna för avisning och väntetider ingår dessa komponenter inte i våra beräkningar.

1.4. Resultat

1.4.1. Beräkningsresultat

Figur 1 visar omfattningen av ekonomitankning vid olika nivåer av prispåslag på flygbränsle i Sverige. Resultatet baseras på samtliga flygrutter i tabell 1, det vill säga utrikesflygningarna och sannolikheten att flygrutten Malmö-Stockholm ersätts med Köpenhamn-Stockholm. Prispåslaget antas gälla bränsle som tankas i Sverige inför flygningar både inrikes och utrikes.

Den heldragna linjen visar omfattningen av ekonomitankning mätt i termer av $A(\tau)$, det vill säga den totala mängden ekonomitankat bränsle som andel av den totala mängden bränsle som hade krävts för flygningarna från Sverige till utlandet om ingen ekonomitankning hade skett.⁹ Den streckade linjen visar kapacitetstaket för ekonomitankning och fångar restriktioner i termer av högsta tillåtna vikt vid start och landning samt tankkapacitet.



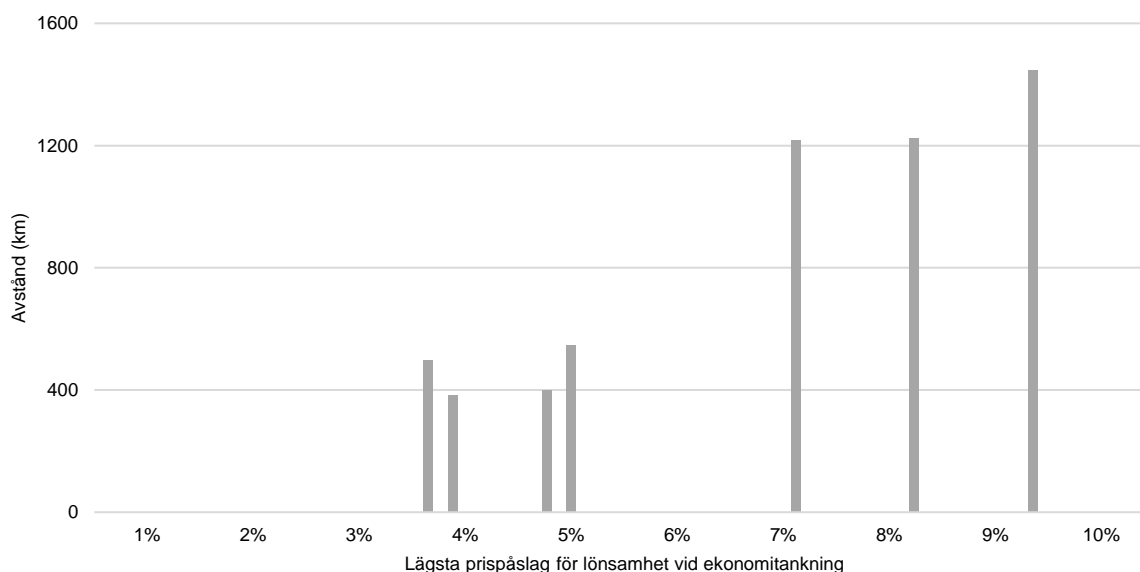
Figur 1. Ekonomitankning och prispåslag på flygbränsle i Sverige

Vid prispåslag mindre än 4 procent sker ingen ekonomitankning enligt figur 1. Vid dessa nivåer är prispåslaget på flygbränslet i Sverige för lågt för att kompensera flygbolagen för de ökade kostnader för bränsle och koldioxidutsläpp som ekonomitankning skulle medföra.

I intervallet 4 till 10 procents prispåslag sker en snabb förändring av incitamenten att ekonomitanka. Det gäller i synnerhet för avgångsorter närmare Stockholm (Oslo, Helsingfors, Köpenhamn och Gdansk)

⁹ Det är också möjligt att beräkna elasticiteten för ekonomitankning (A) med hänsyn till prispåslaget (τ) baserat på figur 1. Elasticiteten anger den procentuella förändring i ekonomitankning som följer av en procents ökning i prispåslaget: $e = \frac{\partial A}{A} / \frac{\partial \tau}{\tau}$. Den beräknade elasticiteten varierar med prispåslaget och är lika med 0 på intervallet $\tau = [0, 4\%]$, minskar från 15,03 till 1,82 på intervallet $\tau = [5\%, 10\%]$, minskar från 1,23 till 0,19 på intervallet $\tau = [11\%, 21\%]$ och är sedan lika med 0.

jämfört med de längre ifrån (London, Frankfurt och Moskva). Det beror på att den högre bränsleförbrukningen per timme, som följer av ekonomitankning, ger högre tillkommande kostnader på längre flygningar. Det minsta prispåslag vid vilket ekonomitankning är lönsamt är därför lägre för de kortare flygningarna (4-5%) jämfört med de längre (7-9%), vilket illustreras i figur 2.



Figur 2. Avstånd och lägsta prispåslag för lönsamhet vid ekonomitankning

I intervallet 11 till 20 procent fortsätter omfattningen av ekonomitankning att öka, men i lägre takt. Graden av ekonomitankning ökar på de längre flygningarna men inte på de kortare vilket sammantaget gör att ökningen av ekonomitankning avtar över intervallet. På en del av de kortare flygningarna (avgångsorter Köpenhamn och Helsingfors) binder kapacitetsrestriktionerna i termer av högsta tillåtna vikt vid start eller landning. På andra kortare flygningar (avgångsorter Gdansk och Oslo) uppnås full ekonomitankning, d.v.s. allt bränsle som används på flygningen från Sverige till utlandet har tankats i utlandet. I fallet Gdansk-Skavsta är medelantalet passagerare lägre jämfört med andra flygningar på liknande avstånd, vilket gör att graden av ekonomitankning inte begränsas av den högsta tillåtna vikten vid start eller landning. I fallet Oslo-Stockholm är sträckan kortare jämfört med andra flygningar med samma flygplansstorlek, vilket gör att ekonomitankning inte begränsas av kapacitetsrestriktionerna.

Vid prispåslag mellan 21 och 32 procent ligger omfattningen av ekonomitankning konstant på drygt 50 procent, det vill säga att omkring hälften av den totala bränslemängd som krävs för returflygningarna tankas i utlandet. På de längre flygningarna uppnås full ekonomitankning (Singapore-Moskva-Stockholm) eller så begränsas omfattningen av högsta tillåtna vikt vid landning (Frankfurt-Stockholm). I fallet Singapore-Moskva-Stockholm är mängden ekonomitankat bränsle på flygningen Moskva-Stockholm relativt liten jämfört med flygplanets dimensioner och högsta tillåtna vikt vid start och landning. Detta eftersom planet är dimensionerat för en lång internationell flygning och ekonomitankning endast krävs för sträckan Stockholm-Moskva.

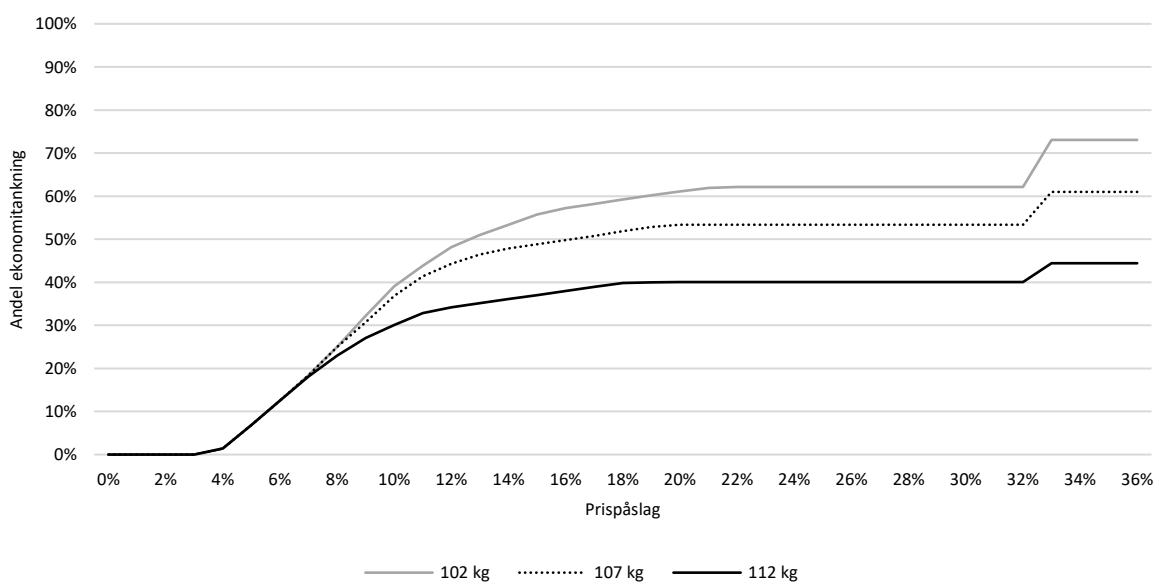
Från och med prispåslag på drygt 30 procent blir det lönsamt att flytta avgångsort på flygningar till Stockholm från Malmö-Sturup till Köpenhamn-Kastrup. Vid lägre påslag är det visserligen optimalt att ekonomitanka på flygrutten Köpenhamn-Stockholm men högre flygplatsavgifter vid Köpenhamn-Kastrup innebär att en flytt fortfarande är olönsam i termer av totala kostnader. Påslaget på priset på bränsle som tankas i Sverige måste vara så pass högt att det kompenserar för de 10 till 15 procent högre flygplatsavgifterna på Köpenhamn-Kastrup. Differensen i flygplatsavgifter gör det därför lönsamt med ekonomitankning först vid avsevärt högre prispåslag på sträckan Malmö-Stockholm jämfört med

utrikesresorna. Detta resultat gäller för flygningar med avgångsort Malmö och ska inte ses som representativt för all inrikes trafik i Sverige.

1.4.2. Känslighetsanalyser

Modellen kräver antaganden om olika beräkningsparametrar. Här diskuterar vi de som har störst betydelse för resultaten. Figur 3 visar hur omfattningen av ekonomitankning skiljer sig åt beroende på antagandet om den genomsnittliga vikten på nyttolasten. Figuren visar resultat baserat på genomsnittsvikter per passagerare som är 5 kg lägre (102 kg) respektive högre (112 kg) än vikten som används i huvudanalysen (107 kg).

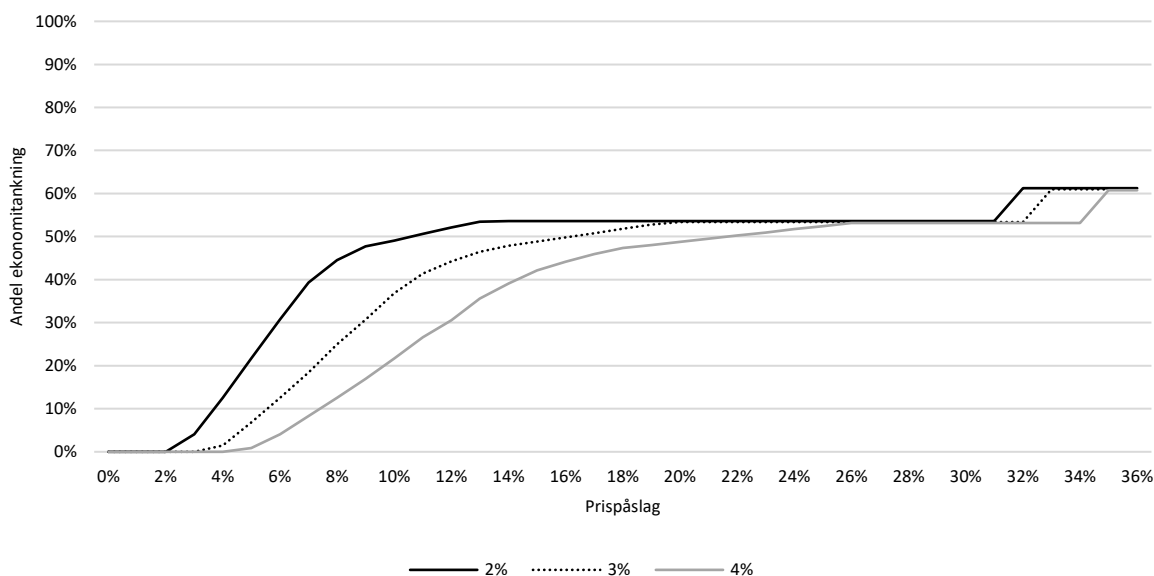
Vid lägre prispåslag spelar nyttolastvikten mindre roll för resultaten. I samtliga fall blir ekonomitankning lönsamt först vid påslag på 4 procent. Vid prispåslag över 4 procent ökar ekonomitankningen i takt med ökade prispåslag upp till en viss gräns. Ökningstakten och gränserna påverkas av i detta fall av nyttolasten. Möjligheterna till ekonomitankning begränsas mer av kapacitetsrestriktionerna då nyttolasten ökar och vice versa.



Figur 3. Ekonomitankning och prispåslag vid olika nyttolastvikter

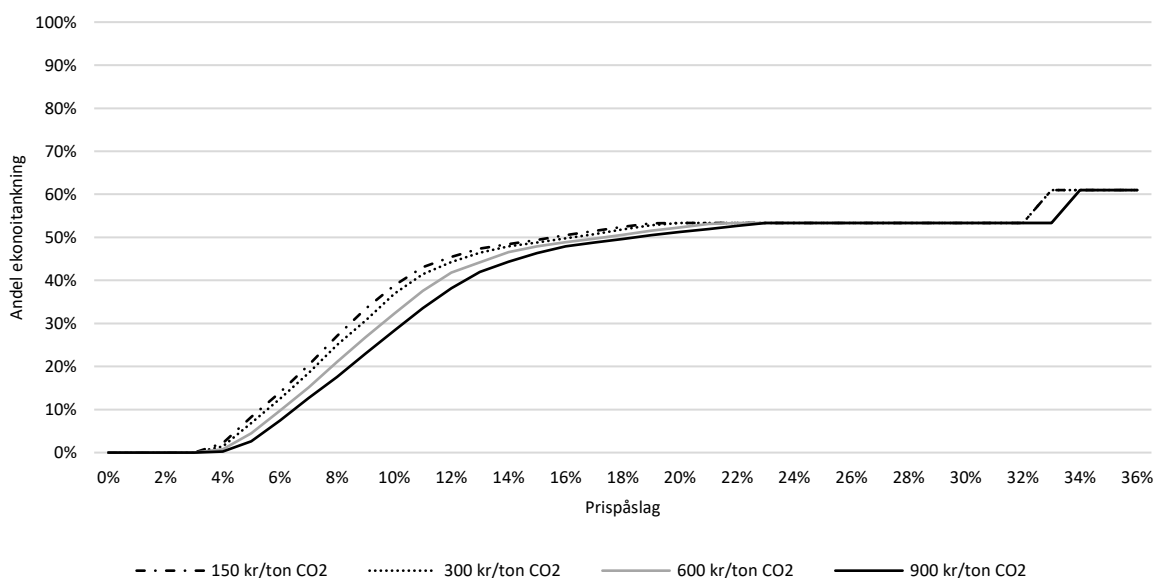
Figur 4 visar hur omfattningen av ekonomitankning skiljer sig åt beroende på antagandet om bränslepåslaget, d.v.s. bränsleökningen per extra kilo tankat bränsle. Figuren visar resultat baserat på viktfactorer som är lägre (2%) respektive högre (4%) än i huvudanalysen (3%). Precis som i huvudanalysen ökar bränslepåslaget med andelen ekonomitankning. En viktfactor på 2% innebär ett bränslepåslag på mellan 2 och 4 % per kg ekonomitankat bränsle då andelen ekonomitankat bränsle rör sig mellan 0 och 1. En viktfactor på 4% innebär ett bränslepåslag mellan 4 och 8%.

Viktfactorn påverkar vid vilket prispåslag som ekonomitankning blir lönsamt. Ju mer ett extra kilo ökar bränsleförbrukningen, desto högre måste prispåslaget vara för att göra det lönsamt att ekonomitanka. Vid en viktfactor på 4 procent höjs gränsen för när det blir lönsamt att ekonomitanka med en procentenhet till ett prispåslag i Sverige på cirka 5 procent. Viktfactorn påverkar också hur mycket graden av ekonomitankning ökar med prispåslaget. Ju mer ett extra kilo ökar bränsleförbrukningen, desto mindre lönsamt är det att ägna sig åt omfattande ekonomitankning. I figuren visar det sig genom att kurvan blir flackare då viktfactorn är högre. Vid högre prispåslag begränsas omfattningen av ekonomitankning av kapacitetsrestriktioner och påverkas knappt av antagandet om viktfactorn.



Figur 4. Ekonomitankning och prispåslag vid olika viktfactorer

Figur 5 visar hur omfattningen ekonomitankning skiljer sig åt beroende på antagandet om priset på koldioxidutsläpp. Figuren visar resultat baserat på ett pris per ton koldioxid som är lägre (150 kr) och högre (600 kr respektive 900 kr) än i huvudanalysen (300 kr). Högre koldioxidpris gör det mindre lönsamt att ekonomitanka eftersom bränsleförbrukningen och koldioxidutsläppen ökar med graden av ekonomitankning. Men kostnaden för utsläpp är liten jämfört med de andra komponenterna i kalkylen. Skillnaden i grad av ekonomitankning mellan en halvering (150 kr) respektive en dubbling (600 kr) av utsläppspriset är som mest cirka 6 procentenheter.



Figur 5. Ekonomitankning och prispåslag vid olika pris på koldioxidutsläpp

Vi har också undersökt alternativa värden på bränslepriset. Detta antagande har mindre betydelse för resultatet. Ett högt bränslepris innebär att högre bränsleförbrukning kostar mer, men också att flygbolaget undviker en högre kostnad genom att ekonomitanka. Dessa två effekter tar till stor del ut varandra.

1.4.3. Framtidsscenarier

Denna studie har begränsats till att studera omfattning av ekonomitankning givet den struktur på marknaden för flyg till och från svenska flygplatser som förelåg 2019. Analysen tar inte eller hänsyn till att högre prispåslag på den svenska marknaden för flygbränsle kan påverka biljettpriser, efterfrågan på flygresor, val av flygplan, avgångstider och avgångsfrekvenser. Resultaten visar att det finns relativt stort utrymme för ekonomitankning, framförallt på kortare sträckor, men det kan finnas fler sätt att optimera kostnaderna genom att förändra uppläggen, inte minst med tanke på att det är kapacitetsrestriktioner som sätter gränserna för möjligheten till ekonomitankning. Vid mindre prispåslag är det dock sannolikt att strukturen på marknaden bibehålls och att presenterade resultat ligger nära vad som kan förväntas. Modellen behandlar också varje tur- och returflygning som en isolerad händelse. I praktiken kan beslutet att ekonomitanka röra flygningar i flera led.

I regeringens utredning om reduktionsplikt för flygbränsle (Biojet för flyget, SOU 2019:11) föreslås att krav på inblandning av biodrivmedel införs 2021 med successivt skärpta krav till och med 2030. En reduktionsplikt kan successivt höja priset på bränsle i Sverige eftersom kostnaden för biobränslet är högre än för det ordinarie bränslet. Reduktionsplikten kan därmed komma att leda till ekonomitankning om det inte införs restriktioner mot detta. Ekonomitankning till följd av ett generellt prispåslag kan därmed komma att öka om det införs i samband med en reduktionsplikt. Utfallet kommer då också att vara beroende av i vilken utsträckning andra länder inför krav på inblandning av biodrivmedel. Vid en jämförelse av olika policyåtgärder kan det också vara värt att beakta att prispåslag på bränsle till skillnad från flygskatten även påverkar fraktflyg.

En annan faktor som kan påverka utfallet är i vilken takt el kan börja användas. I första hand som ett sätt att reducera bränsleförbrukning, men på sikt även som ett sätt att helt ersätta förbränningsmotorer. Det senare får bedömas ligga många år framåt i tiden och inledningsvis endast röra flygplan med begränsad räckvidd och kapacitet för passagerare. Eventuellt leder detta till att nya marknader kan öppnas upp snarare än att befintliga linjer elektrifieras. Med rena elflygplan försvinner i princip behovet av att ekonomitanka även om det kan finnas skillnader i elpris vid laddning. Hybridlösningar där eldrift reducerar bränsleförbrukningen kan däremot ha effekt på ovan redovisade resultat. Dels genom att de totala bränslemängderna sjunker, dels via en eventuell förändring i hur en ökad vikt till följd av ekonomitankning påverkar bränsleförbrukningen.

Med tanke på de restriktioner för resor som infördes i samband med Coronakrisen under våren och sommaren 2020 kan flygmarknaden mycket väl komma att förändras i grunden. Dessa förändringar kan potentiellt vara av större magnitud än de förändringar som höjda bränslepriser kan leda till. En stor drivkraft bakom den ökade efterfrågan på flygresor, som flertalet prognoser påvisar, ligger i en ökad köpkraft för allt större delar av världens befolkning. Fler och fler bedöms ha råd att flyga. De ekonomiska följderna av Coronakrisen kan därmed, vid sidan av ett eventuellt ändrat beteende, i sig leda till en lägre efterfrågan på flygresor. Det är omöjligt att säga hur krisen påverkar ekonomitankning vid prispåslag på flygbränsle i Sverige. Effekterna kan kopplas till omläggningar av linjer, ändrade upplägg med reviderade flygplan och avgångsfrekvenser, ändrat utbud om bolag går i konkurs och så vidare.

En följd av Coronakrisen är att basåret för utsläppsnivåer inom Corsia nu har satts till 2019 istället för som tidigare varit kopplat till ett genomsnitt för åren 2019 och 2020. Detta eftersom utsläppsnivåerna rimligtvis kommer att reduceras kraftigt 2020. En annan möjlig risk är att stater som aviserat att de ska delta redan under de frivilliga faserna reviderar sina beslut. I dagsläget är dock kostnaderna förknippade med utsläppsrätter enligt ETS och kommande beräknade utsläppskrediter enligt Corsia så låga att de inte har någon större inverkan på nivån av ekonomitankning. På sikt kan de dock göra kostnaden för den tillkommande bränsleförbrukningen vid ekonomitankning så pass hög att mängden ekonomitankningen sjunker vid givna nivåer av prispåslag se känslighetsanalysen under avsnitt 1.4.2.

1.5. Slutsatser

I tabell 4 sammanfattar vi vår bedömning av sannolikheten för ekonomitankning baserat på beräkningsresultaten. Den första kolumnen visar prispåslag i intervall, den andra kolumnen sannolikheten för viss ekonomitankning och den tredje kolumnen sannolikheten för omfattande ekonomitankning. Med omfattande ekonomitankning avser vi att andelen ekonomitankat bränsle är mer än 20 procent av bränsleåtgången i basscenariot. Med viss ekonomitankning avser vi att andelen ekonomitankat bränsle är mer än noll. Sannolikhetskalan går från mycket låg till låg, medelhög, hög och mycket hög.

Tabell 4. Prispåslag och ekonomitankning

Prispåslag flygbränsle	Viss ekonomitankning (>0%)	Omfattande ekonomitankning (>20%)
0-3%	Låg sannolikhet	Mycket låg sannolikhet
4-10%	Hög sannolikhet	Medelhög sannolikhet
11-20%	Mycket hög sannolikhet	Hög sannolikhet
+20%	Mycket hög sannolikhet	Mycket hög sannolikhet

Vid prispåslag upp till 4 procent visar beräkningarna att ekonomitankning inte är lönsamt. Detta resultat gäller både i huvudanalysen och i merparten av känslighetsanalyserna. Vi bedömer därför sannolikheten för viss ekonomitankning som låg och sannolikheten för omfattande ekonomitankning som mycket låg.

Vid prispåslag mellan 4 och 10 procent ökar graden av ekonomitankning snabbt på samtliga flygrutter. Vi bedömer därför sannolikheten för viss ekonomitankning i detta intervall som hög. Graderna av ekonomitankning understiger 20 procent i vissa delar av intervallet och överstiger 20 procent i andra. Vi bedömer därför sannolikheten för omfattande ekonomitankning som medelhög under detta intervall.

Vid prispåslag mellan 11 och 20 procent fortsätter graden av ekonomitankning att öka och ligger högre än 20 procent. Vi bedömer därför sannolikheten för viss ekonomitankning som mycket hög och sannolikheten för omfattande ekonomitankning som hög.

Vid prispåslag över 20 procent är graden av ekonomitankning betydligt högre än 20 procent och vi bedömer därför sannolikheten för omfattande ekonomitankning som mycket hög.

Som tidigare påpekats är ekonomitankning i princip endast möjligt för utrikes flyglinjer. De fall där det är möjligt att inrikes linjer kan utnyttja ekonomitankning är när samma plan används i en kombination av inrikes och utrikes flygrörelser, som i det studerade fallet Köpenhamn-Stockholm-Umeå. Det andra alternativet kan vara att en svensk flygplats byts mot en utländsk för att möjliggöra ekonomitankning. Här bedöms detta framförallt beröra relationen Malmö och Köpenhamn där markförbindelserna är sådana att det relativt enkelt och med liknande tidsåtgång och kostnader går att nå dessa flygplatser. I denna studie bedöms prisskillnaden på bränsle i Köpenhamn jämfört med Malmö behöva vara relativt stor, cirka 30 procent högre i Malmö, innan den studerade linjen Malmö-Stockholm byts ut mot linjen Köpenhamn-Stockholm.

Referenser

Bréguet, L. (1920). Calcul du poids de combustible consommé par un avion en vol ascendant. Gauthier-Villars.

Fregagni, J. och Correia, C. (2012): A fuel tankering model applied to a domestic airline network, J. Adv. Transp. 47: 386-398.

ICAO (2018): ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology, version 11.

ICAO (2020): What would be the impact of joining CORSIA? Hämtad 2020-08-14: https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/A39_CORSIA_FAQ3.aspx

Lee, J. J., Lukachko, S. P., Waitz, I. A., & Schafer, A. (2001). Historical and future trends in aircraft performance, cost, and emissions. Annual Review of Energy and the Environment, 26(1), 167-200.

Morris, K. (2006): Air Carrier Efficiencies. Presentation vid Workshop on Aviation Operational Measures for Fuel and Emissions Reductions, 21 september 2006.

NEA (2009): Survey on standard weights of passengers and baggage. Final report. Zoetermeer, maj 2009.

O'Kelly, M. E. (2012). Fuel burn and environmental implications of airline hub networks. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(7), 555-567.

Randle, W. E., Hall, C. A., & Vera-Morales, M. (2011). Improved range equation based on aircraft flight data. Journal of Aircraft, 48(4), 1291-1298.

Singh, V., & Sharma, S. K. (2015). Fuel consumption optimization in air transport: a review, classification, critique, simple meta-analysis, and future research implications. European Transport Research Review, 7(2), 12.

Skyplan Services (2018) Generic Aircraft Database

Transportstyrelsen (2020): Flygplatsstatistik 2019: Landningsfrekvens.

Quandl (2020) ECX EUA Futures, Continuous Contract. Hämtad 2020-08-14: https://www.quandl.com/data/CHRIS/ICE_C1-ECX-EUA-Futures-Continuous-Contract-1-C1-Front-Month

OM VTI

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Vår huvuduppgift är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Vi arbetar för att kunskapen om transportsektorn kontinuerligt ska förbättras och är på så sätt med och bidrar till att uppnå Sveriges transportpolitiska mål.

Verksamheten omfattar samtliga transportslag och områdena väg- och banteknik, drift och underhåll, fordonsteknik, trafiksäkerhet, trafikanalys, människan i transportsystemet, miljö, planerings- och beslutsprocesser, transportekonomi samt transportsystem. Kunskapen från institutet ger beslutsunderlag till aktörer inom transportsektorn och får i många fall direkta tillämpningar i såväl nationell som internationell transportpolitik.

VTI utför forskning på uppdrag i en tvärvetenskaplig organisation. Medarbetarna arbetar också med utredning, rådgivning och utför olika typer av tjänster inom mätning och provning. På institutet finns tekniskt avancerad forskningsutrustning av olika slag och körsimulatorer i världsklass. Dessutom finns ett laboratorium för vägmaterial och ett krocksäkerhetslaboratorium.

I Sverige samverkar VTI med universitet och högskolor som bedriver närliggande forskning och utbildning. Vi medverkar även kontinuerligt i internationella forskningsprojekt, framförallt i Europa, och deltar aktivt i internationella nätverk och allianser.

VTI är en uppdragsmyndighet som lyder under regeringen och hör till Infrastrukturdepartementets verksamhets-/ansvarsområde. Vårt kvalitetsledningssystem är certifierat enligt ISO 9001 och vårt miljöledningssystem är certifierat enligt ISO 14001. Vissa provningsmetoder vid våra laboratorier för krocksäkerhetsprovning och vägmaterialprovning är dessutom ackrediterade av Swedac.

vti