



UNIVERSITETET I
NORDLAND

MASTEROPPGAVE

Luftfart, energi og miljø

BE325E

Georg Fredrik Myhre

og

Torstein Valen



Abstract

Environment and greenhouse gas emissions are an increasingly important issue in today's society and aviation's role in climate change is a key issue in the environmental debate. Research in this area is characterized by varying results and inconsistent research designs. In the environmental debate this can lead to large variations in the projected emissions caused by aviation depending on which research stakeholders choose to rely on. The cornerstone of this report is a unique set of data that enables documenting and analyzing emissions at micro and macro levels. Based on these data the report will document emissions from Norwegian's domestic flights in 2013 and through regression analyzes estimate drivers of fuel consumption and hence emissions. The industry standard for reporting greenhouse gas emissions from aviation is based on great circle distance. This creates problems when the environmental impact of aviation is compared with other modes of transportation. Through analysis of radar tracks this report documents actual distance travelled by domestic flights in Norway. The data set and the drivers of emissions establish the basis for an analysis of emission reduction measures.

The results of this report show that the emissions from Norwegian's domestic traffic is in the lower range of existing published research. If actual distance travelled is used instead of great circle distance, emissions per RPK falls by 9%. Through regression analysis, the aircraft age and the pilots influence are established as significant drivers of fuel consumption and emissions of greenhouse gases.

Due to the expected traffic growth in the aviation sector and today's absence of alternatives to fossil fuel, the industry will in the future account for an increasing share of the world's greenhouse gas emissions. The emission reduction measures in this report shows that it is possible to stabilize total emissions at current levels by introducing conventional measures that reduce the consumption of fossil fuel. If total emissions are to be reduced below current levels some of the fossil fuel needs to be replaced by biofuel. The load factor's significant influence on environmental emissions is also elucidated.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som fullføring av mastergraden MBA i luftfartsledelse ved Universitetet i Nordland, fakultet Handelshøgskolen i Bodø. Rapporten er et samarbeid mellom Torstein Valen og Georg Fredrik Myhre. Forfatterene arbeider til daglig som piloter for flyselskapet Norwegian. Dataene som blir presentert og brukt i rapporten er sekundærdata innhentet av Norwegian ved hjelp av deres elektroniske flightbag i 2013 og primærdata fra nettstedet Flightradar24. En takk rettes til Norwegian ved Ole Christian Melhus for tilgjengeliggjøring av data, førsteamanuensis Torfinn Harding ved NHH for bistand med regresjonsanalyse og seniorrådgiver Olav Mosvold Larsen i Avinor for verdifulle innspill til problemstillingen. En stor takk rettes også til Harald Thune Larsen ved TØI for god veiledning gjennom masteroppgaven. Til sist en takk til alle andre bidragsytere som har kommet med innspill og vist engasjement for oppgaven.

Sammendrag

Miljø og utslipp av klimagasser er stadig viktigere tema i dagens samfunn og luftfartens klimapåvirkning er et sentralt spørsmål i miljødebatten. Forskning på dette området preges av varierende resultater med ulike metoder. I miljødebatten kan dette føre til store variasjoner i luftfartens beregnede klimapåvirkning avhengig av hvilken forskning aktørene velger å støtte seg på. Grunnlaget for denne rapporten er tilgangen til et unikt datamateriale som gir mulighet til å dokumentere og analysere utslipp på mikro- og makronivå. Basert på dette datamaterialet dokumenteres utslipp fra Norwegians innenriksflygninger i 2013 og gjennom regresjonsanalyser estimeres drivere av drivstofforbruk og derav utslipp. Bransjestandarden for å rapportere utslipp av klimagasser fra luftfart baseres på storsirkeldistanse. Dette skaper problemer når miljøpåvirkningen til luftfarten skal sammenlignes med andre transportformer. Gjennom analyser av radarspor dokumenterer denne rapporten faktisk tilbakelagt distanse for innenriksflygninger i Norge. Datamaterialet og driverene av utslipp legger videre grunnlaget for analyser av utslippsreducerende tiltak.

Rapportens resultater viser at enhetsutslippene fra Norwegians innenrikstrafikk ligger i nedre del av det eksisterende forskning publiserer. Dersom man rapporterer CO₂e-utslipp etter faktisk distanse istedenfor storsirkeldistanse reduseres det rapporterte utslippet med 9%. Flyets alder og flygerens påvirkning estimeres som signifikante drivere av drivstofforbruk og utslipp av klimagasser gjennom regresjon.

På grunn av den forventede trafikkveksten i luftfarten og mangel på alternativer til fossilt drivstoff vil bransjen i fremtiden stå for en stadig økende andel av verdens klimagassutslipp. Tiltaksanalysene i denne rapporten viser at det for innenriks luftfart er mulig å stanse denne utslippøkningen ved å innføre konvensjonelle tiltak som effektiviserer bruken av fossilt drivstoff. Dersom totalutslippene skal reduseres fra dagens nivåer må noe av det fossile drivstoffet erstattes med biodrivstoff. Kabinfaktorens betydelige effekt på miljøutslippene er også belyst.

Innholdsfortegnelse

Tabelloversikt	1
Figuroversikt	1
Oversikt appendikskapitler	2
Begrepsordliste	3
1 Innledning	6
2 Forskningsspørsmål	8
3 Bakgrunn og Eksisterende forskning	9
3.1 Hvordan forurenses luftfarten?	9
3.2 Andre forurensende mekanismer og temperaturhevende utslipp fra luftfart	10
3.3 Klimagassutslipp fra norsk innenriks luftfart	12
3.4 Beregning av distanse for passasjertransport med fly	15
3.5 Kabinfaktorens innvirkning på utslipp	16
3.6 Utslippsreducerende tiltak	19
4 Data	29
4.1 Datasett 1 - Faktisk tilbakelagt distanse	29
4.2 Datasett 2 - Norwegians innenriksflygninger Norge 2013	32
4.3 Sammenstilling av datasett	34
5 Metode	35
5.1 Energiforbruk og miljøutslipp per passasjerkilometer	35
5.2 Regresjonsanalyse	37
5.3 Utslippsreducerende tiltak	49
6 Funn og drøfting	57
6.1 Utslipp fra Norwegians innenriksflygninger	57
6.2 Effekten av rapportering etter faktisk tilbakelagt distanse	59
6.3 Drivere av drivstofforbruk	61
6.4 Utslippsreducerende tiltak	68
Litteraturliste	78

Tabelloversikt

Tabell 3.1 Sammenstilling av resultater fra eksisterende forskning - Enhetsutslipp.....	14
Tabell 6.1 Deskriptiv statistikk - Norwegians innenriksflygninger Norge 2013	57
Tabell 6.2 Enhetsutslipp sett i sammenheng med eksisterende forskning	58
Tabell 6.3 Deskriptiv statistikk - Faktisk tilbakelagt distanse	59
Tabell 6.4 Effekt av rapportering av CO ₂ e etter faktisk distanse	60
Tabell 6.5 Resultater regresjonsanalyse: Drivere av drivstofforbruk.....	61
Tabell 6.6 Oversikt over alle tiltak, enhetsutslipp	69
Tabell 6.7 Oversikt over totalutslippet til alle tiltak sett i forhold til utslippene i 2013.....	72

Figuroversikt

Figur 3.1 Distanseveid kabinfaktor innenriks i USA 2004 - 2015	17
Figur 3.2 Indeksert sammenligning mellom prisen på Jet A1 og prisen på flyreiser i Norge	21
Figur 4.1 Visualisering av datagrunnlag for faktisk tilbakelagt distanse.....	30
Figur 5.1 Scatterplot linearitet	46
Figur 5.2 Heteroskedastisitet-test	47
Figur 6.1 Visualisering av faktisk distanse og storsirkel	59
Figur 6.2 Flyindividets merforbruk (kg) og flyindividets alder.....	65
Figur 6.3 Flygerens påvirkning på drivstofforbruk	67
Figur 6.4 Sammenstilling av alle tiltak, enhetsutslipp (CO ₂ e/storsirkel pkm), 2013 - 2025.....	68
Figur 6.5 Visualisering av potensialet for distansereduksjon	70
Figur 6.6 Sammenstilling av alle tiltak, totalutslipp	71
Figur 6.7 Totalutslipp og effekten av Biodrivstoff. Pessimistisk, normalt og optimistisk anslag ...	73
Figur 6.8 Totalutslipp og effekten av Flåteutskiftning. Pessimistisk, normalt og optimistisk anslag	74
Figur 6.9 Flygerenes merforbruk, optimistisk, pessimistisk og normalanslag for tiltaket	75
Figur 6.10 Kabinfaktorens innvirkning på enhetsutslipp	76
Figur 6.11 Kabinfaktorens innvirkning på totalutslipp og PKM på en gjennomsnittstur.....	77

Appendikskapitler

Appendiks A - Datainnsamling fra Flightradar24.com	81
Appendiks B - Trimming av datasettet Norwegians innenriksflygninger Norge 2013.....	83
Appendiks C - Datasettets variabler	87
Appendiks D ₁ - Utslippsreducerende tiltak, Biodrivstoff	89
Appendiks D ₂ - Utslippsreducerende tiltak, Flåteutskiftning	90
Appendiks D ₃ - Utslippsreducerende tiltak, Luftromseffektivisering	91
Appendiks D ₄ - Utslippsreducerende tiltak, Flygere	92
Appendiks D ₅ - Utslippsreducerende tiltak, En-motors taxi	93
Appendiks D ₆ - Utslippsreducerende tiltak, Vektbesparelser	94

Begrepsordliste

Andre generasjons biodrivstoff: Drivstoff som kan produseres av forskjellige typer biomasse. Råvarene til andre generasjons biodrivstoff er ligninholdige planter (trær, busker og lignende) eller avfall fra landbruk eller mennesker.

Antropogen Radiative Forcing: Menneskeskapt klimapåvirkning.

APU: Auxiliary Power Unit. En hjelpemotor ombord i flyet som supplerer elektrisitet og trykkluft. Flyets motorer startes normalt ved hjelp av trykkluft fra APU'en.

ASK: Available Seat Kilometers. Et sete flydd én kilometer. Et mål på tilgjengelig kapasitet. Samme som Setekilometer.

ATM: Air Traffic Management. Luftfartsterminologi som beskriver systemet og ressursene som styrer og kontrollerer luftrommet. Inkludert er også informasjonstjenester (f.eks meteorologi) og navigasjonsinfrastruktur. I Norge utføres disse oppgavene av Norsk Flysikring AS som er et heleid datterselskap i Avinor-konsernet.

B737-300 - Eldre utgave av Boeing 737 konfigurert med 148 seter hos Norwegian. Tilhører familien som også er kalt Boeing 737 Classic. Produsert fra 1984 til 2000.

B737-800 - Nyeste utgave av Boeing 737 konfigurert med 186-189 seter hos Norwegian. Tilhører familien som også er kalt Boeing 737 NG (Next Generation). Produsert fra 1996.

Betavekt β : Også kalt regresjonskoeffisient. I lineær regresjon representerer denne verdien endringsraten til den uavhengige variabelen den beskriver. Én enhets endring i den uavhengige variabelen fører til β endringer i den avhengige variabelen.

BGO: Bergen Lufthavn, Flesland.

CDM: Collaborative Decision Making. Globalt prosjekt som skal øke effektiviteten til luftrommet gjennom økt informasjonsdeling mellom forskjellig aktører. Under innføring i Europa.

Ceteris paribus - Under ellers like forhold.

CO₂e: CO₂-ekvivalenter, en samlebetegnelse for utslipp av klimagasser målt i ekvivalenter av CO₂. Den oppgir det globale oppvarmingspotensialet (GWP) til alle utslipp, normalt estimert over 100 år, i tilsvarende enheter av CO₂.

Dikotom variabel - En variabel som kun kan ha to verdier. Også kalt binær variabel.

Distanseveid kabinfaktor: (Passasjerkilometer / Setekilometer) x 100.

Drop-in fuel: En type biodrivstoff som kan erstatte eller blandes med fossilt drivstoff i ulike innblandingsforhold uten modifikasjon av maskinene som skal forbrenne drivstoffet.

EFB: Elektronisk Flight Bag. En IT-løsning som installeres i cockpit som kan erstatte manualer, kart, manuelle beregninger og intern/ekstern rapportering. Fysisk er dette en datamaskin med berørings skjerm som opereres av et normalt operativsystem.

ETS: Emission Trading System. En markedsbasert tilnærming for å kontrollere forurensning gjennom økonomiske insentiver. Det foregår en politisk drakamp om hvorvidt og i hvilken grad luftfarten skal inkluderes i dette systemet.

Fischer-Tropsch prosess: En samling kjemiske reaksjoner som konverterer en blanding av karbonmonoksid og hydrogen til flytende hydrokarboner.

Første generasjons biodrivstoff: Konvensjonelt biodrivstoff produsert av sukker, stivelse eller vegetabilsk olje.

GPS/GNSS: Global Positioning System/Global Navigation Satellite System. En teknologi som bestemmer posisjonen til et objekt ved hjelp av satellitter.

GWP: Global warming potential. Et relativt mål på hvor mye varme en klimagass fanger i atmosfæren.

HEFA drivstoff: Hydroprocessed Esters and Fatty Acids. Drivstoff produsert av vegetabilsk olje eller fett, enten ved å prosessere biomasse eller fra gjenvinning av olje fra matindustrien.

Holding: Ventemønster som brukes i luftfart når landing ikke er mulig, eksempelvis grunnet mye trafikk eller dårlig vær.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, FN's klimapanel.

Jet A1 - Flydrivstoff som brukes på fly med turbinmotorer.

Kabinfaktor: $(\text{Antall passasjerer} / \text{Antall seter}) \times 100$. Kan også uttrykkes som belegg.

LCA: Life Cycle Analysis. Livsløpsanalyse. En analyse av den totale miljøpåvirkningen av et produkt fra vugge til grav inklusive utslipp i transport og mellomledd.

LOSU: Level of Scientific Understanding. En 5-steps skala introdusert av IPCC (Solomon et. al, 2007) for å karakterisere usikkerhet relatert til RF. De 5 stegene i skalaen er: high, medium, medium-low, low og very low.

LTO: Landings- og TakeOff-fasen. Et begrep som omfatter en flygnings ut-taxi, avgang, flygning opp til 1000 meter, fra 1000 meter, ned til landing og inn-taxi. Etablert av ICAO.

Mach: En betegnelse for hastighet angitt som en prosent av lydens hastighet.

Narrowbody: Passasjerfly med én midtgang. Vanligvis er dette kort- og mellomdistansefly.

NAS: Norwegian Air Shuttle

Nyttelast: Vekten av passasjerer bagasje og frakt.

Nyttelastkilometer: Ett kilo nyttelast transportert én kilometer.

OSL: Oslo Lufthavn.

PKM: Passasjerkilometer, Én passasjer fraktet én kilometer. Et mål på transportarbeidet utført.

Samme som RPK.

Point Merge: En ankomstprosedyre utviklet av Eurocontrol for å flette ankommende trafikk sammen på en forutsigbar måte. Er innført ved OSL, BGO, TRD og SVG.

Push and hold: En prosedyre som brukes av noen flyselskaper ved lengre slot-tider. Prosedyren består i å dytte flyet tilbake fra gate på rutetid, men før slot-tiden. På denne måten frigir man bakkepersonellet til andre arbeidsoppgaver og får registrert en avgang i henhold til rute. Flyet venter med å starte motorene til slot-tiden nærmer seg.

Radiative Forcing (RF): Forskjellen mellom sollys som blir absorbert av Jorden og det som blir reflektert tilbake. Typisk oppgitt i watt pr. kvadratmeter. Positiv RF varmer atmosfæren og negativ kjøler den ned.

Radiative Forcing Index (RFI): En ratio for å kvantifisere innvirkningen av andre utslipp enn CO₂ fra luftfarten. RFI er et påvirkningsmål, i motsetning til GWP som er et utslippsmål.

RNAV Visual: Et prøveprosjekt i regi av Avinor på OSL som benytter seg av GNSS teknologi til innflyvninger istedenfor bakkebaserte hjelpemidler. Fordeler er kortere faktisk flydd distanse som reduserer forbruk og utslipp og kurvede innflyvninger som reduserer støy over bebodde områder. Foreløpig kun tilgjengelig når værforhold og trafikksituasjon tillater det.

RPK: Revenue Passenger Kilometers. Én passasjer fraktet én kilometer. Et mål på transportarbeidet utført. Samme som passasjerkilometer (PKM).

Setekilometer: Ett tilgjengelig passasjer sete fraktet én kilometer. Et mål på kapasiteten som er tilgjengelig. Samme som ASK.

Slot: En restriksjon i avgangstidspunkt tildelt av lufttrafikk tjenesten.

Storsirkeldistanse - Korteste avstanden mellom to punkter (flyplasser).

SVG: Stavanger Lufthavn, Sola.

Tankering: Når store prisforskjeller på drivstoff eksisterer mellom to lufthavner kan det lønne seg for flyselskapene å ta med seg ekstra drivstoff fra avgangsstedet for å slippe å fylle drivstoff på ankomststedet. Dette kalles tankering.

TRD: Trondheim Lufthavn, Værnes.

Widebody: Passasjerfly som har to midtganger. Vanligvis er dette større langdistansefly.

1 Innledning

Miljø, utslipp og energiforbruk er stadig viktigere temaer i dagens samfunn generelt og for transportsektoren spesielt. Klimakonvensjonen, FNs rammekonvensjon om klimaendring, er en internasjonal traktat som har til hensikt å begrense de globale utslippene av klimagasser. Konvensjonen ble utarbeidet under FN-konferansen om miljø og utvikling i Rio de Janeiro i 1992. Den åpner for videre forhandlinger om tilleggsprotokoller, som skal sette begrensninger for utslipp. Den viktigste protokollen så langt er Kyoto-protokollen som ble vedtatt i desember 1997. Gjennom Kyoto-avtalen forplikter deltakerlandene seg til reduksjoner av miljøutslipp.

Miljødebatten i media er preget av steile fronter. Grunnet kompleksiteten i å beregne utslippene fra de ulike aktørene i transportsektoren opererer ofte ulike grupper med ulikt tallmateriale. Forutsetninger, begrensninger og antagelser som tas på et tidlig tidspunkt i en undersøkelse kan ha til dels store utslag på sluttresultatet. Dette gjør at det finnes store forskjeller mellom de ulike rapportene som beskriver utslipp fra luftfart. Interessenter kan derfor i debatten velge å benytte seg av de tallene som passer best til deres formål.

Politikere og andre beslutningstakere som skal orientere seg i dette fagfeltet for å forankre lover, avgiftspolitik og andre insentiver mangler et solid fundament for sine vedtak. Det skaper problemer i samfunnsdebatten og i politiske spørsmål når det ikke finnes entydige verdier å forholde seg til.

Det er forventet at utslippsreduksjonene i stor grad skal løses gjennom etableringen av systemer for kvotehandling og andre avgiftspolitiske tiltak. Dette betyr at det i fremtiden vil være kostnadsdrivende for flyselskapene å slippe ut klimagasser (European Commission, 2015). Drivstoffkostnadens andel av flyselskapenes totale operasjonskostnader har økt de senere årene. Drivstoffkostnaden er nå den største utgiften til den globale luftfartsindustrien, opp fra 13% av totale kostnader i 2001 til 32% i 2008. (IATA, 2010). En luftfartsbransje i kraftig vekst med historisk relativt høye enhetsutslipp blir stadig mer presset til å ta ansvar på veien mot

lavutslippssamfunnet. I en fremtid hvor det forventes at alle bransjer reduserer sine totale klimagassutslipp vil luftfarten sette sitt vekstpotensiale i fare dersom ikke reduksjoner i utslippene materialiserer seg. Dette gjør at flyselskapene har både økonomiske og strategiske interesser i å redusere drivstofforbruket.

I 2010 innførte Norwegian en ny elektronisk løsning (EFB) i sine fly som erstattet flere funksjoner som tidligere hadde vært utført manuelt. EFB danner grunnlaget for en digital datainnsamling som muliggjør analyser som tidligere ikke har vært gjennomførbare.

Denne rapporten bruker faktiske forbruks- og utslippsdata i et omfang som ikke tidligere har vært tilgjengelig for forfattere av lignende rapporter. På bakgrunn av et fullstendig datasett og statistisk analyse ønsker rapporten å publisere tall som skal være trygge å bruke av alle parter i samfunnsdebatten. Rapportens bidrag til denne debatten er å presentere en faglig forankret analyse av Norwegians innenrikstrafikk i 2013 og på basis av dette belyse og kvantifisere utslippsreducerende tiltak.

For å oppnå disse målene vil kapittel 2 konkretisere og presisere forskningsspørsmålene denne rapporten søker å besvare. I kapittel 3 presenteres bakgrunn og eksisterende forskning som er nødvendig for å gi et teoretisk grunnlag til å besvare forskningsspørsmålene. De kvantitative datasettene som er grunnlaget for analysene presenteres i kapittel 4. I kapittel 5 presenteres metoden som brukes for å analysere dataene. Og til slutt presenteres resultatene i kapittel 6 hvor rapporten besvarer forskningsspørsmålene fra kapittel 2.

2 Forsknings spørsmål

Denne rapporten har tilgang på sekundærdata for all innenrikstrafikk produsert av Norwegian i 2013 og et utvalg av primærdata på tilbakelagt distanse. Dette gir en unik mulighet til å dokumentere og analysere utslipp for denne produksjonen.

Denne rapporten ønsker gi svar på følgende forsknings spørsmål.

Utslipp fra Norwegians innenriksflygninger

Basert på data for Norwegians innenriksflygninger vil denne rapporten undersøke miljøutslippene på mikro og makronivå med utgangspunkt i forbrukt drivstoff.

Effekten av rapportering etter faktisk tilbakelagt distanse

Bransjestandard i dag er rapportering av enhetsutslipp fra luftfart målt etter storsirkel. Denne rapporten ønsker å dokumentere faktisk tilbakelagt distanse for et utvalg av Norwegians innenrikstrafikk og kartlegge hvor stort utslag rapportering av utslipp etter faktisk distanse vil gi.

Drivere av drivstofforbruk

Drivstofforbruk er tilnærmet proporsjonalt med miljøutslipp. Denne rapporten identifiserer faktorer som påvirker drivstofforbruket og målsetter disse.

Utslppsreducerende tiltak

Funnene fra analysene over blir i kombinasjon med eksisterende forskning brukt til å analysere effekten av utslppsreducerende tiltak frem til 2025.

3 Bakgrunn og eksisterende forskning

3.1 Hvordan forurenses luftfarten?

Hovedandelen av klimautslippene til luftfarten kommer fra fremdrift av transportmiddelet (Simonsen, 2010a). Denne delen av utslippene kalles ofte Tank-to-Wheel eller direkte netto utslipp. Dersom utvinning, produksjon og transport av selve drivstoffet inkluderes i regnskapet betegnes sluttresultatet som direkte brutto utslipp eller Well-to-Wheel. Livsløpsanalyse, også kalt Life-Cycle Analysis (LCA), inkluderer i tillegg alle miljøutslipp forbundet med produksjon, drift, vedlikehold og gjenvinning av transportmiddelet og infrastruktur.

Simonsen (2010a) hevder at utslipp fra fremdrift står for 82 % av energiforbruk og utslipp, mens utvinning, produksjon og transport av drivstoff står for 12 %. Produksjon og vedlikehold av flyene bidrar til ca 3 % og konstruksjon og vedlikehold av flyplass bidrar til ca. 3 % av utslippene.

Målet for utslipp av klimagasser er CO₂-ekvivalenter. Dette er en samlebetegnelse for klimagassutslipp målt i ekvivalenter av CO₂. Den oppgir det globale oppvarmingspotensialet (GWP) til alle utslipp, normalt estimert over 100 år, i tilsvarende enheter av CO₂.

Denne rapporten undersøker utslipp fra fremdrift, direkte netto miljøutslipp målt i CO₂e.

3.2 Andre forurensende mekanismer og temperaturhevende utslipp fra luftfart

Luftfart skiller seg fra andre menneskeskapte aktiviteter som påvirker klimaet ved at deler av utslippene blir gjort i en høyde av 8 – 12 km over jordens overflate. Utslipp av CO₂ i disse høydene har akkurat samme effekt som om utslippene ble gjort på bakkenivå (Lian et al., 2007). I tillegg til CO₂-utslipp kan luftfarten ha andre uheldige påvirkninger på miljøet som har andre virkninger i stor høyde enn de har på bakken.

I rapporten “Aviation and the Global Atmosphere” (Penner et al., 1999) brukes uttrykket “Radiative forcing” (RF). På norsk oversettes dette til “strålingspådriv” eller “strålingspådrag”. Strålingspådrivet er definert som endring i netto irradians ved tropopausen. Netto irradians er differansen mellom inngående solstråling og utgående varmestråling fra jorda med atmosfæren, og måles i W/m². Denne måleenheten brukes som et steg på veien til å regne ut hvilken effekt et utslipp har på temperaturhevingen av kloden og brukes til å nå EU-målet om en heving av globale temperaturer på 2 grader eller mindre i forhold til før-industrielle nivåer.

I tillegg til rene utslipp av CO₂ påvirker luftfarten miljøet gjennom følgende mekanismer (Lee et al., 2009)

- Utslipp av NO_x. Dette er en sum av 3 komponenter (totalt sett positiv RF):
 - Produksjon av troposfærisk O₃ (positiv RF).
 - Reduksjon av ambient Metan (langtidsvirkning) (CH₄) (negativ RF).
 - Reduksjon av O₃ (langtidsvirkning) (negativ RF).
- Utslipp av vann (positiv RF).
- Formasjon av lineære kondensstriper (positiv RF).
- Formasjon av cirrus-skyer (Aircraft-induced cirrus cloudiness, AIC) (potensielt positiv RF).
- Utslipp av sulfater (negativ RF).
- Utslipp av sot (positiv RF).

Det har blitt gjort ekstensiv forskning på hvor store effekter disse faktorene har på miljøet og man har ønsket å korrelere disse til utslippene av CO₂ fra luftfarten. Uttrykket “Radiative forcing index” (RFI) ble først introdusert av Penner et al. (1999) som et forsøk på å finne en faktor man kunne multiplisere direkte med CO₂-utslippene fra luftfarten slik at man på en enkel måte har kunnet estimere temperaturhevingseffekten utslipp i store høyder har på klimaet. Det problemet man imidlertid møter med denne fremgangsmåten er at RFI ikke tar hensyn til varigheten til de forskjellige effektene. For eksempel er det beregnet at kondensstriper har sin største effekt omtrent 9 timer etter at utslippet har funnet sted (Haywood et al., 2009), mens effekten av utslipp av CO₂ er antatt å ha en virkning på klimaet i flere hundre år. Dette gjør at RFI er uegnet som metode for å beregne utslipps-ekvivalens med CO₂ (Lee et al., 2009), (Solomon et al., 2007).

Inntil et bedre målesystem for sammenligning av utslipp blir utviklet og standardisert bruker IPCC fremdeles Global Warming Potential (GWP) på tross av at denne metoden har flere kjente svakheter. GWP er imidlertid uegnet til å beregne effekten av vann, kondensstriper og AIC. Vanndamp er ikke klassifisert under denne metoden av IPCC da mengden av vann i atmosfæren i stor grad kun avhenger av temperatur.

Usikkerheten knyttet til de ulike mekanismene nevnt over varierer kraftig. Level of scientific understanding (LOSU) er en 5-steps skala introdusert av IPCC (Solomon et al., 2007) for å karakterisere usikkerhet relatert til RF. I listen under er LOSU for de overnevnte mekanismene slik de er klassifisert av IPCC (Lee et al., 2009):

- CO₂: High
- No_x: Medium – Low
- Vann: Low
- Lineære kondensskyer: Low
- Aircraft-induced cirrus cloudiness: Very low
- Sulfater: Low
- Sot: Low

For å tallfeste hvor store utslag usikkerhetene har på utslippstallene kan en se på luftfartens andel av total RF i 2005. Med 90 % sannsynlighet anslås luftfarten å stå for 2–14 % av antropogen RF. Dersom en kun tar hensyn til CO₂ er det 90 % sannsynlighet for at luftfarten står bak 0,8-2,3 % av antropogen RF og dersom en inkluderer alle faktorer utenom AIC er anslaget 2-10 % (Lee et al., 2009). Usikkerheten rundt temperaturhevede effekter ikke relatert til utslipp av CO₂-ekvivalenter er med andre ord stor.

I denne rapporten undersøkes utslippene av CO₂-ekvivalenter beregnet etter metodene beskrevet av IPCC for GWP uten noen annen form for faktoreringsgrunnet de store usikkerhetene relatert til de nevnte mekanismene og deres påvirkning på klimaet.

3.3 Klimagassutslipp fra norsk innenriks luftfart

Enhetsutslipp

Lian et al. (2007) skriver i sin rapport “Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart” om klimaeffekten av luftfart og utslipp knyttet til nordmenns flyreiser. Rapporten er skrevet ved Transportøkonomisk Institutt (TØI) på oppdrag fra Avinor og NHO Luftfart. Grunnlagsdata for utregning av utslipp er SAS’ beregnede forbruk på flygninger fra Oslo til Bergen og Tromsø. Kabinfaktoren er antatt og distansene er målt etter storsirkel. Totalutslipp er beregnet til 55,0 kg CO₂ og 109,0 kg CO₂ for de to strekningene. Dette utgjør 170 og 98 g CO₂/PKM. Merk at det oppgis kun CO₂ og ikke CO₂e i denne rapporten. Med samme metode som beskrevet i metodekapittelet av denne oppgaven vil det være et tillegg på 0,85 % for omregning til CO₂e. Dette vil gi et utslipp på 99-171 g CO₂e/PKM.

Toutain et al. (2008) beskriver i deres rapport “Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport” energiforbruk og luftforurensning for ulike transportformer i Norge. Rapporten er skrevet ved Statistisk Sentralbyrå (SSB) på oppdrag fra den tverretatlige styringsgruppen for Nasjonal transportplan (NTP). Grunnlagsdata for flygningene er fra 2006 og er innhentet fra SAS. Rapporten gir data på makro- og mikronivå. Data fra mikronivå refereres her. Kabinfaktoren oppgis ikke i rapporten men tallene er hentet fra Rideng (2005).

Utslippstall oppgis for to strekninger målt etter storsirkel, Oslo til Bergen (324 km) og Oslo til Tromsø (1114 km). Utslippstallene for Oslo til Bergen er 161 g CO₂e/PKM og for Oslo til Tromsø 118 g CO₂e/PKM. SSB har ikke utgitt data for enhetsutslipp fra luftfart etter 2008.

Schlaupitz (2008) publiserte rapporten “Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer” som et tilskudd til debatten om høyhastighetsbaner i Norge på oppdrag fra Norges Naturvernforbund. Her blir høyhastighetsbaner sammenliknet med luftfart. For utslipp fra luftfart tar rapporten utgangspunkt i SAS’ utslippskalkulator med en skjønnsmessig korreksjon på +5 % for vær og vind og +1 % for bakkestrøm og andre operasjoner. Det er oppgitt estimerte reduserte utslippstall for luftfart i fremtiden, men ikke dagens utslippstall. Estimatenes for reduksjoner er gjort rede for og det er således mulig å regne seg tilbake til utgangspunktet for enhetsutslipp. Totalt anslås en 25 % reduksjon i drivstofforbruk fra 2008 til 2020. For 2020 oppgis beregnet direkte netto energiforbruk til å være 0,351 kWh/ASK for en tur på 350 km og 0,467 kWh/ASK for en tur på 280 km. Ved å korrigere for 25 % forbedring i 2020 ender forbruket på 0,684 kWh/ASK. Rapporten regner med 70 % kabinfaktor ved å vise til kabinfaktorer innenriks i Norge for SAS (68,5 %) og Norwegian (78,5 %). Etter korrigeringen for forbedringen frem til 2020 og kabinfaktoren finner man at dette tilsvarer 181,8 g CO₂e/pkm for turen på 350 km og 236 g CO₂e/PKM for en tur på 280 km. Distansen oppgitt er storsirkeldistanse. Dette tallet sammenlignes direkte mot andre transportformer i undersøkelsen uten å ta hensyn for at flyet har betraktelig kortere distanse å tilbakelegge på typiske ruter i Sør-Norge enn tog og bil.

Simonsen (2010b) har i sin rapport “Transport energi og miljø”, på oppdrag fra Norsk Forskningsråd, skrevet om energibruk og utslipp for ulike transportmiddel i ulike livsløpsfaser. Her tar Simonsen forutsetningen at all innenriks passasjertransport i Norge utføres av SAS, Norwegian og Widerøe. Videre antas det at SAS og Norwegian kun flyr fly av typen Boeing 737 og Widerøe kun flyr Dash-8. Kabinfaktoren er estimert til 62 % og reiselengde er definert som storsirkeldistanse. Reisene med Boeing 737 er delt inn i to kategorier, 400 km og 950 km, som henholdsvis skal representere en reise innen Sør-Norge og en reise fra Sør-Norge til Nord-Norge målt etter storsirkel. CO₂e-utslipp fra B737 på en 400 km flygning er rapportert til 145 g CO₂e/PKM og for en 950 km flygning 115 g CO₂e/PKM.

Avinor et al. (2011) skriver i rapporten “Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart” om klimagassutslipp til luft. Rapporten er initiert og ledet av Avinor og gjennomført i samarbeid med SAS, Norwegian, Widerøe og NHO Luftfart. TØI og CICERO har levert underlagsmateriale. Rapporten har både analysert samfunnsnyttien av flytrafikken og de belastningene som luftfarten påfører klimaet. I denne rapporten oppgis forbruket til en B737-800 til 0,028 liter per setekilometer. SAS er oppgitt som kilde til disse tallene og det antas at SAS oppgir forbruk per faktiske distanseenhet og ikke et høyere tall vektet for storsirkeldistanse. Det er ikke oppgitt lengde på reisen ved dette forbruket. Dette utgjør 71g CO₂e/ASK. Det er ikke oppgitt kabinfaktor innenriks i Norge og dermed heller ikke enhetsutslipp i CO₂e/PKM. I tabell 3.1 sammenstilles resultatene fra samtlige rapporter beskrevet over. Der kabinfaktor ikke er oppgitt blir det utregnet enhetsutslipp basert på kabinfaktorene for de øvrige rapportene for å kunne sammenlikne data.

Tabell 3.1 Sammenstilling av resultater fra eksisterende forskning - Enhetsutslipp.

Oppdragsgiver	Avinor, SAS, Norwegian, NHO Luftfart og Widerøe	Norges Forskningsråd	Tverretattlig styringsgruppe for NTP	Norges Naturvernforbund	Avinor og NHO Luftfart
Forfatter	Avinor	Simonsen	Toutain	Schlaupitz	Lian
CO ₂ e/PKM (g)	102-115*	115-145	118-161	178-236	99-171**
PKM mål	Faktisk distanse	Storsirkel	Storsirkel	Storsirkel	Storsirkel
Grunnlagsdata	SAS B737-800	B737	SAS	SAS' utslippskalk.	SAS B737-800
Distanse (km)	Ikke oppgitt	950-400	1114-324	350-280	1114-323
Kabinfaktor	70-62%*	62%	Ikke oppgitt	70%	71-67%
Årstall	2011	2010	2008	2008	2007

*Utregnet for kabinfaktor på 70 og 62 %

**korrigert fra CO₂ til CO₂e

Det er stor variasjonsbredde på CO₂e/PKM blant funnene i rapportene. Norges Naturvernforbunds tall for enhetsutslipp i 2008 er inntil 105 % høyere enn Avinors tall fra 2011 gitt lik kabinfaktor. Forskjellene i rapporterte verdier antas å skyldes forhold som forskjellige grunnlagsdata, beregning etter storsirkeldistanse eller faktisk fløyet distanse, strekningen utslippene er beregnet for, kabinfaktoren utslippene er beregnet for og årstallet rapporten er utgitt. Vi ser her at disse metodiske valgene og underlagsmaterialet har stort utslag på rapportert enhetsutslipp.

Totalutslipp

SSB (2015c) rapporterer totalutslipp fra norsk innenriks luftfart i 2013 til å være 1,4 mill tonn CO₂e. Per epost spesifiserer Skullerud (2015) ved SSB at innenriks utslipp underlagt Kyoto-avtalen i 2013 står for 1,38 mill tonn, hvorav Innenriksflygninger med fly står for 1,15 mill tonn. De resterende utslipp fordeler seg på Innenriksflygninger med helikopter og forswarets flygninger med henholdsvis 0,12 og 0,11 mill tonn.

3.4 Beregning av distanse for passasjertransport med fly

For transportarbeid med fly er det bransjestandard å beregne utslipp per PKM (enhetsutslipp) etter storsirkeldistanse, mens andre transportformer måler utslipp etter faktisk tilbakelagt distanse. Grunnen til dette antas å være mangel på offisielle data på faktisk tilbakelagt distanse for fly. En problemstilling for luftfart er at måling av utslipp etter storsirkel gir et høyere klimagassutslipp per kilometer enn om man måler per faktisk tilbakelagt distanse. Dette er fordi totalutslippene er de samme, men målt etter faktisk tilbakelagt distanse blir det flere kilometer å fordele de på. Den økte tilbakelagte distansen skyldes mange faktorer som behovet for et rett strekke rett etter avgang og før landing, ineffektiv luftromsorganisering, annen trafikk, vær og støyrestriksjoner. Norwegians flygninger fra Sør-Norge til Nord-Norge blir også ofte rutet i norsk luftrom selv om korteste vei er gjennom svensk luftrom. Dette skyldes forskjeller i underveisavgifter mellom de to landene. Disse faktorene fører til at en gjennomsnittlig flygning er lengre enn storsirkeldistansen mellom to flyplasser.

Selv målt etter faktisk distanse tilbakelegger luftfarten færre kilometer enn andre transportformer for samme transportarbeid. På tross av dette får luftfart, målt i enhetsutslipp, beregnet ytterligere utslipp ved å ikke bli kreditert for sin faktisk tilbakelagte distanse.

3.5 Kabinfaktorens innvirkning på utslipp

Kabinfaktoren er en viktig driver av drivstofforbruk og miljøutslipp på makronivå fordi marginalforbruket av drivstoff ved å bære med seg en ekstra passasjer er neglisjerbart i forhold til de ekstra passasjerkilometerene som blir produsert. Dersom en del av den fremtidige trafikkveksten kan komme som økt kabinfaktor istedenfor økt frekvens vil også totalutslippene kunne reduseres. Denne rapporten klassifiserer ikke endring av kabinfaktor som et utslippsreducerende tiltak, men en kan ikke se bort fra kabinfaktorens betydning når de utslippsreducerende tiltakene vurderes.

Det er to hovedmåter for å beregne kabinfaktoren:

- Kabinfaktor: antall passasjerer/antall seter.
- Distanseveid kabinfaktor: PKM/Setekilometer.

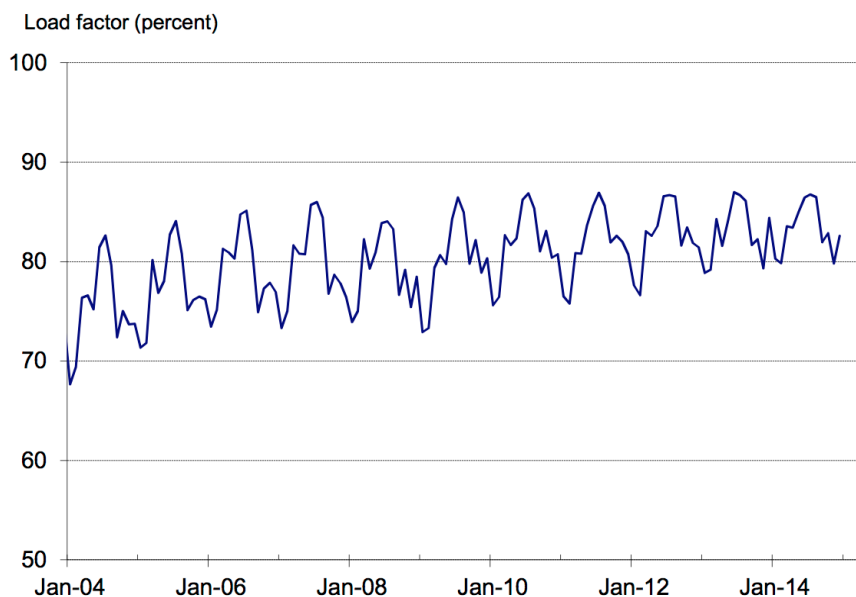
De to metodene kan gi forskjellige tall fra samme datamateriale. I denne rapporten brukes kabinfaktor dersom ikke annet er oppgitt.

Historikk

Den historiske kabinfaktoren for innenriksflygninger i Norge har variert de siste tiårene. Detaljerte kabinfaktorer betraktes som forretningshemmeligheter av flyselskapene og en komplett oversikt finnes derfor ikke. Fra 1991 til 2001 varierte kabinfaktoren innenriks fra 52 % til 67 % (Lian et al., 2002). I 2008 anslås innenriks kabinfaktor på B737 til 62 % (Simonsen, 2010b). Statistikkbanken til SSB inneholder kvartalsvise kabinfaktorer fra 1. kvartal 2009 til 4. kvartal 2014 og disse varierer fra 55 % til 66 % (SSB, 2015a). Alle disse kabinfaktorene er utarbeidet fra Avinors tall og kan inneholde unøyaktigheter.

USA er et foregangsland innen luftfart. De siste tiårene har kabinfaktoren for innenrikstrafikken økt jevnt og har nå stabilisert seg på et høyt nivå. Som vist i figur 3.1 var distanseveid kabinfaktor innenriks i USA 83,5 % i 2013. Dette har steget fra 65,3 % i 1995.

Figur 3.1 Distanseveid kabinfaktor innenriks i USA 2004 - 2015 (US Department of Transportation, 2015)



Markedsforhold og avstander er imidlertid noe annerledes i USA enn i Norge og det kan være mer naturlig å sammenligne intra-Europeisk trafikk med Amerikansk innenriksstrafikk.

Elementer som kan påvirke kabinfaktoren

Kapasitetsutnyttelse er et viktig felt i flybransjen fordi produktet som produseres ikke kan lagres og konsumeres senere. Det er flere faktorer som påvirker kabinfaktoren, noen er innenfor flyselskapets kontroll, andre er det ikke. De viktigste driverene av kabinfaktoren er (Holloway, 2008):

- Hvor mye kapasitet som tilføres markedet i forhold til etterspørsel. Dette kan igjen avhenge av en rekke parametere som konkurransesituasjon, fremtidsutsikter, overliggende strategi osv.
- Prising. Flybilletter har høy priselastisitet og etterspørselen øker med en reduksjon av prisene.
- Trafikkmiks. Av flere grunner har ruter med en høy andel forretningsreisende lavere kabinfaktor enn fritidsreisende.
- Betalings- og refusjonsordninger. Dersom billetten er ikke-refunderbar øker normalt sett kabinfaktoren.

- Flyselskapets kommersielle suksess.
- Revenue management. Effektiviteten til RM-systemet når det kommer til å forhindre tapt etterspørsel og bortkastet kapasitet.

Faktorer som kan påvirke Norwegians kabinfaktor innenriks i Norge

Den høye frekvensen enkelte ruter i Sør-Norge nå opererer med kan indikere at en kan forvente en økning i kabinfaktoren ved trafikkvekst fordi kvaliteten på produktet ikke lenger kan heves betraktelig ved å tilføre flere avganger.

Innfasingen av B737-800 med 186 seter og utfasingen av B737-300 med 148 seter vil kunne føre til en lavere kabinfaktor dersom dagens frekvenser opprettholdes.

Konkurransesituasjonen vil kunne ha store effekter på kabinfaktoren. Dersom duopolet til SAS og Norwegian brytes ved at en tredje aktør starter operasjoner innenriks i Norge vil dette kunne påvirke kabinfaktoren negativt.

3.6 Utslippsreducerende tiltak

De neste avsnittene tar for seg bakgrunn og eksisterende forskning som gir et nødvendig teorigrunnlag for å kunne vurdere de utslippsreducerende tiltakene mot 2025.

Biodrivstoff

Biodrivstoff er et drivstoff som inneholder karbon som nylig er fjernet fra atmosfæren gjennom fotosyntese i levende organismer som planter og alger. Når man forbruker biodrivstoff slippes det ut CO₂e i atmosfæren på samme måte som ved forbruk av fossilt drivstoff. Ved produksjon og forbruk av biodrivstoff skaper man en syklus hvor karbonet, etter å bli forbrent, blir reabsorbent når neste avling råstoff dyrkes. Nettoutslippet av denne syklusen er det som blir sluppet ut under produksjonen og transporten av drivstoffet. Ulike typer råstoff, produksjonsprosesser, lokaliteter og transportmåter slipper ut ulike mengder CO₂e. Det finnes mange forskjellige biodrivstoff og de kan produseres både som gass, væske eller fast materiale. Det finnes ingen internasjonal standard for klassifisering av biodrivstoff, men en mye brukt inndeling skiller mellom første og andre generasjons biodrivstoff.

Første generasjons biodrivstoff produseres fra sukker, stivelse eller vegetabilsk olje. Selv om første generasjons biodrivstoff i de fleste tilfeller fører til en utslippsreduksjon når en sammenligner med det fossile drivstoffet det erstatter, er ikke reduksjonen stor og i enkelte tilfeller kan en også få en utslippsøkning. Det finnes også en rekke andre potensielt negative konsekvenser av første generasjons biodrivstoff av sosial, økonomisk, miljømessig og teknisk art. Dersom en tar med dette i livsløpsregnskapet til drivstoffet som blir produsert har man i enkelte tilfeller sett at biodrivstoffet medfører mer CO₂e-utslipp enn det fossile alternativet det erstatter.

Andre generasjons biodrivstoff (også kalt avansert biodrivstoff) tar sikte på å bruke råstoffer og produksjonsmetoder som eliminerer mange av problemområdene forbundet med første generasjons biodrivstoff. Råstoffer som kan brukes er celluloseholdig biomasse, skog, ubrukte rester fra landbruk, jordbruk eller skogbruk og avfall fra mennesker og dyr. Dette er biomasse som ikke kan brukes til matproduksjon. Forskning viser at man ved å bruke

celluloseholdig råstoff kan redusere CO₂e utslippene med 80-85 % sammenlignet med fossile drivstoff (Börjesson et al., 2013). EU har gjennom fornybarhetsdirektivet (EU Direktiv 2009/28/EF) fastsatt en rekke krav til biodrivstoff for at det skal kunne regnes som nullutslippseenergi. Blant annet settes det krav til netto besparelse i klimagassutslipp sammenlignet med fossilt drivstoff og det er restriksjoner på uttak av råstoff fra områder med høy biodiversitetsverdi og fra områder med høy karbonbinding.

Det er en rekke grunner til at biodrivstoff er et viktig satsingsområde for flere aktører i luftfarten. Den første og viktigste grunnen er kravene til reduserte klimagassutslipp som er i ferd med å stilles industrien. Dersom biodrivstoffet tilfredsstillt kravene til EU's fornybarhetsdirektiv kan det nulltelles. Dette betyr at utslippene vil holdes utenfor i et planlagt fremtidig kvotehandlingssystem. Det eksisterer usikkerhet rundt når og i hvilken form luftfarten vil bli inkludert i dette systemet. Selv om luftfarten på nåværende tidspunkt har færre kostnader forbundet med sitt klimagassutslipp enn mange andre industrier er det en felles forståelse i bransjen om at det er et tidsspørsmål før også luftfarten må bidra i større grad til fremtidens lavutslippssamfunn.

En annen grunn til satsingen på biodrivstoff er bransjens krav til energitetthet og kraft/vekt-forhold. Der det i andre industrier og transportformer eksisterer flere mulige teknologier som kan iverksettes og fases inn er mulighetene for luftfarten begrensede. Det kan ikke i det tidsperspektivet denne rapporten undersøker forventes at noen annen form for drivstoff eller lagringsmedium kan erstatte dagens fossile brensel. Vekt-komponenten er så viktig i luftfart at dersom en ny teknologi (eksempelvis elektrisitet lagret i batterier) innebærer økt vekt vil en stor del av energien gå med til å bære med seg denne økte vekten og dermed gjøre teknologien ubrukelig. I tillegg finnes utfordringer med ekstreme temperaturer, høye krav til sikkerhet, lang levetid og store investeringer på fartøyene som idag er i drift. Biodrivstoff eller syntetisk Jet A1 brukes imidlertid på dagens flyflåte uten modifikasjoner opp til et blandingsforhold på 50 %.

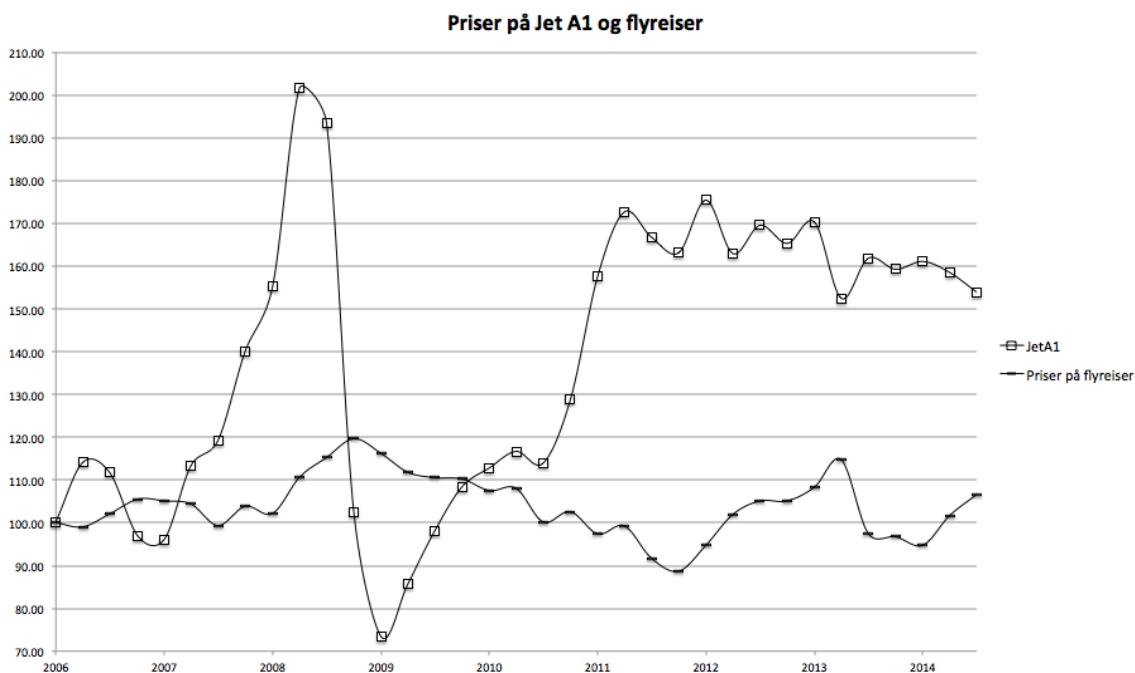
Det er også en stor fordel at biodrivstoff i luftfart kan brukes som en "drop-in fuel". Det betyr at en kan blande inn drivstoff fra biomasse i fossilt Jet A1 i ulike mengder opp til 50 % avhengig av hvordan tilgangen og prisen til enhver tid er på de ulike drivstoffene og på

utslipp av CO₂e er.

Alt biodrivstoff kan ha uheldige virkninger på pakninger og andre komponenter i distribusjonsnett og lagringsmedium. Derfor kreves det en modifisering av eksisterende infrastruktur før biodrivstoff kan benyttes. I landbasert transport finnes det et stort antall distribusjonsnett (bensinstasjoner), mens det i luftfarten stort sett kun eksisterer ett anlegg for hver lufthavn. Dette gjør at luftfartens distribusjonsnett er mer sentralisert og derfor bedre egnet til å tilrettelegges for bruk av biodrivstoff til en lavere kostnad enn distribusjonsnettets til andre transportformer.

Flere av de økonomiske syklusene i luftfartsbransjen har vært knyttet til svingninger i drivstoffprisene. Prisen på Jet A1 har vist seg meget volatil sammenlignet med prisen på flyreiser og bransjen får dermed problemer å balansere inntekter og utgifter. Flyselskapene håper en diversifisering av energitilgangen vil kunne redusere volatiliteten til prisen på sin største kostnadspost.

Figur 3.2 Indeksert sammenligning mellom prisen på Jet A1 og prisen på flyreiser i Norge (Indexmundi, 2015 og SSB, 2015b)



Indeks 100: 1. kvartal 2006.

Det som idag forhindrer industrien i å bruke biodrivstoff er tilgangen på bærekraftig produsert fornybar Jet A1 til en konkurransedyktig pris. I sin rapport “Bærekraftig biodrivstoff for luftfart” har Rambøll på oppdrag fra Avinor utredet mulighetene for produksjon av biodrivstoff til sivil luftfart i Norge (Rambøll, 2013). Denne analysen viser at av mulige landbaserte og marine råstoff er biomasse fra skog den viktigste kilden i Norge på kort sikt. Det vil også være gode muligheter for import av råstoff til konkurransedyktige priser. Norskproduserte råstoff fra mikro- og makroalger til energiformål vil neppe utgjøre et betydelig volum før etter 2025. I samme rapport har Sintef Energi vurdert mulige teknologier for produksjon av fornybar Jet A-1 i år 2020-2025. To ulike verdikjeder peker seg ut for produksjon i Norge: Termokjemiske prosesser (Fischer-Tropsch), og prosesser der bioalkoholer etterbehandles (raffineres) til Jet A-1. Av disse to prosessene virker den første (Fischer-Tropsch) mest lovende for øyeblikket, men det må understrekes at begge teknologiene er umodne og denne konklusjonen er dermed usikker. Hovedkonklusjonen i rapporten er at det er teknisk og økonomisk mulig å tilrettelegge for produksjon av bærekraftig fornybar Jet A-1 i Norge innen 2020-25. Foreløpige analyser tilsier at man også vil kunne produsere til konkurransedyktige priser. Basert på teorien om læringskurver forventes produksjonskostnadene å synke til 7 NOK/liter i 2025 og være på nivå med markedsprisen for Jet A-1.

Usikkerhetene er imidlertid store. Det finnes idag ingen fullskala produksjonsanlegg for fornybar Jet A1 på tross av at betydelige ressurser har blitt tildelt forskning på dette området. I 2007 alene bevilget USA 1 milliard USD til cellulose-ethanol prosjekter. (Sainz, 2007). På tross av dette produseres fornybar Jet A-1 foreløpig kun i små volum til høye kostnader som en del av forsøksprosjekter. I tillegg er den økonomiske rammen, når man ser noen år frem i tid, høyst usikker grunnet en volatil drivstoffpris og usikre rammebetingelser.

Flyselskapene har i flere år foretatt forsøksflygninger med biodrivstoff. Den første kommersielle flygningen ble foretatt av en Boeing 747 fra Virgin Atlantic i februar 2008. og 11. november 2014 ble de to første flygningene med biodrivstoff i Norge utført. Omtrent en uke etter, den 19. november 2014, annonserte SkyNRG, Statoil Aviation og Avinor at fra mars 2015 vil Oslo Lufthavn, som den første flyplassen i verden, ha et regulært tilbud om å levere biodrivstoff til flyselskapene.

Data fra Norwegians bioflygning viser at energitettheten i blandingen av biodrivstoff og Jet A1 er nærmest identisk med fossil Jet A1 både pr. volumenhet og pr. masseenhet (omtrent 1 % forskjell). Når det gjelder en fremtidig produksjon av biodrivstoff i Norge er det vanskelig å si noe om energitetthet på grunn av manglende modenhet av teknologien, andre råstoffer enn det som nå brukes og muligens andre blandingsforhold. Det kan imidlertid konkluderes med at ulikhetene mellom et fremtidig biodrivstoff og fossil Jet A1 vil imidlertid være små siden spesifikasjonene ikke kan variere mye dersom samme motorteknologi skal brukes.

I sin rapport om biodrivstoff til norsk luftfart har Rambøll (2013) gjort en livsløpsanalyse av et tenkt produksjonsanlegg for biodrivstoff i Norge. Rambøll beregner at ved bruk av norsk skog som råstoff og en Fischer-Tropsch prosess vil en oppnå omtrent 81 % reduksjon av klimagassutslipp sammenlignet med fossilt Jet A1. Denne beregningen er basert på EU's retningslinjer for beregning av klimaeffekt fra biodrivstoff. I fornybarhetsdirektivet (EU Direktiv 2009/28/EF) setter EU krav til at annengenerasjons biodrivstoff skal ha en besparelse på minst 60 % av CO₂e-utslippene til det fossile drivstoffet det erstatter. I en rapport fra International Energy Agency (Eisentraut, 2010) understreker forfatteren den store usikkerheten som eksisterer rundt annengenerasjons biodrivstoff. Rapporten angir en klimagass-besparelse på 60-120 %. Grunnen til at en kan få en høyere besparelse enn 100 % ligger i biproduktene som avstedkommer en produksjon av biodrivstoff, da i første rekke kraft- og varmeproduksjon.

Hvor raskt utviklingen av biodrivstoff til luftfarten vil gå og i hvilket omfang det blir innført avhenger av en rekke drivere. Rammebetingelser gjennom avgiftspolitik, prisutvikling på drivstoff og teknologisk utvikling antas å være de viktigste.

Flåteutskifting

Siden jetflyene ble kommersialisert på 60-tallet har det foregått en kontinuerlig forbedring av teknologien i luftfarten. Flyprodusentene fokuserer på å senke operasjonskostnadene til flyselskapene og øke inntektene, sikkerheten, rekkevidden og flere andre egenskaper ved flyene.

Rapporter og artikler som har undersøkt forbedringene i drivstofforbruk strides om hvor store disse forbedringene har vært. IPCC regner med at det har funnet sted en 70 % forbedring fra 1960 til 2000 (Penner et al., 1999). Peeters et al. (2005) rapporterer om en 55 % forbedring fra de første jetflyene på 60-tallet frem til 2005. Peeters et al stiller seg også tvilende til at denne forbedringen kan ekstrapoleres videre da regresjonskurvene fra dataene viser en utflating etterhvert som teknologien modnes.

I januar 2012 annonserte Norwegian en stor flyordre på totalt 222 fly. Denne ordren inkluderer 100 fly av typen B737MAX og 100 A320NEO. A320NEO blir levert fra 2016 og selskapet har offentliggjort at de første leveransene blir leaset videre til andre flyselskaper fordi man i starten mister stordriftsfordeler ved å operere en liten flåte. I midten av 2017 får Norwegian, som lanseringskunde i Europa, sin første B737MAX. Dette flyet har så mange likheter med Norwegians eksisterende flåte av B737-800 at det forventes fasett inn fortløpende etterhvert som det blir levert.

Boeing oppgir en effektivitetsforbedring for B737MAX på 14 % i forhold til de mest effektive eksisterende sammenlignbare modeller. En B737 MAX skal altså ifølge Boeing forbruke 14 % mindre drivstoff enn en B737-800 (Boeing, 2015). Ovenfor Norwegian som kunde oppgir Boeing forbedringen til å være 10-14 %. Norwegian oppgir at av dette vil 8-10 % komme fra motorforbedringer og 2-4 % fra aerodynamikk (Jenssen, 2015). Det er stor sannsynlighet for at disse forbedringene ikke fordeler seg jevnt ut over flytypens operasjonsspekter, men mer detaljert informasjon er ikke tilgjengelig. Basert på tidligere erfaringer med nye flytyper (B787) oppgir Norwegian at det ikke kan forventes mer nøyaktig informasjon før flytypen fases inn i 2017.

Effektivisering av luftrom

Luftrommet i Norge og verden forøvrig har et stort effektiviseringspotensiale tatt i betraktning kapasiteten til dagens teknologi. Dagens luftromsstruktur ble designet for 40 år siden rundt en helt annen teknologi enn den som eksisterer idag og har kun gjennomgått mindre revisjoner. På de samme 40 årene har trafikken (målt i passasjerkilometer) 8-doblet seg på verdensbasis (ICAO, 2007). Systemene som kontrollerer luftrommet i dag er ikke bygget med en kapasitet som effektivt kan ta hånd om dagens og morgendagens trafikk. De

er heller ikke bygget med og for moderne teknologi. Dette fører til en lite effektiv avvikling av trafikken og en lavere kapasitet enn hva som er teoretisk mulig.

Grunnene til den langsomme adopsjonen av ny teknologi er mange. Luftfarten er en sikkerhetsorientert bransje som gjennom mange tiår med sterkt fokus har skapt et transportsystem med en meget lav ulykkesrate. Ansvarlige aktører er forsiktede med å endre et system som tar meget godt vare på førsteprioriteten i luftfarten. Bransjen er global og krever samarbeid over landegrenser dersom effektiviteten skal økes. Samarbeid over landegrenser innebærer å gi fra seg kontroll over luftrom og dette er kontroversielt og vanskelig av flere grunner, blant annet nasjonal sikkerhet og militær suverenitet. Luftfarten har vært en skaper av mange og ofte godt betalte jobber. En effektiviseringsprosess innebærer i tillegg til innføring av ny teknologi også sentralisering, nedbemanning og omplasseringer. Dette møter naturlig nok motstand blant flere grupperinger i bransjen som aktivt motarbeider flere av prosessene. I tillegg eksisterer motstridende målsetninger og motiver blant aktørene involvert. Selskapene og organisasjonene som drifter luftrommene er opptatt av å redusere sine egne kostnader for å være konkurransedyktige i en nært forestående privatiseringsprosess.

Helt fra den kommersielle luftfartens opprinnelse har navigasjon under innflygning og landing vært basert på landbaserte hjelpemidler og dette er fremdeles den teknologien som brukes mest. Men de siste årene har det, gjennom bruk av GPS/GNSS og datamaskiner ombord i flyene, blitt utviklet systemer som gjør flyene uavhengige av bakkebaserte hjelpemidler. Disse nye innflygningsprosedyrene er mer fleksible, det er blant annet mulig å gjøre innflygningen kurvet og dette gjør det mulig å effektivisere den gjennom å korte ned distansen flydd. Teknologien er fremdeles under utvikling, men denne utviklingen har kommet langt og en rekke faktiske innflygninger er satt i drift. I tillegg er flere prøveprosjekter underveis, også i Norge. Et av disse prosjektene, RNAV Visual, er innflygninger til Oslo Lufthavn. Disse innflygningene kan ledes utenfor støysensitive områder samtidig som de korter ned på flydistansen. Inntil videre gjennomføres innflygningene kun i godt vær og i perioder med lite trafikk.

Fagorganisasjonen Air transport action group (2012) har identifisert områder hvor det eksisterer effektiviseringspotensiale i dagens ATM-system:

- Kortere faktisk distanse. I dagens system flys rutene etter gamle strukturer i luftrommene. Med teknologien som eksisterer er det mulig å fly direkte i større grad og dermed kutte ned på faktisk distanse, flytid, kostnader, forbruk og utslipp.
- Bedre koordinering. For å optimalisere forrige punkt ikke bare i et 3-dimensjonalt perspektiv men også i tid, så må informasjon deles i sanntid mellom beslutningstakere og brukere i mye større grad enn tidligere. På denne måten kan et fly ta av fra avgangsstedet på et optimalt tidspunkt for å fly en tilnærmet storsirkel hele veien til destinasjonen i optimal høyde med optimal hastighet uten forsinkelser.
- Inn- og utflygninger med ny teknologi. Ombord-basert teknologi som gir kortere flydd distanse og mer nøyaktige nedstigninger.
- Løse kapasitetsutfordringer. Trafikk over kapasitetsgrensen skaper idag forsinkelser og bortkastet flytid. Dette er spesielt aktuelt på de store flyplassene i rushtiden.
- Mer nøyaktig værinformasjon. Det eksisterer allerede i dag teknologi som lar flyene automatisk sende og motta oppdatert vind- og temperaturinformasjon i forskjellige høyder og lokasjoner rundt seg for å kunne analysere hva som er den optimale ruten og høyden.

Flere rapporter og organisasjoner har undersøkt hvilket potensiale som eksisterer i en effektivisering av luftrommet. IPCC (Penner et al., 1999) anslo et potensiale på 8 - 18 % reduksjon i forbruk og utslipp gjennom effektivisering av luftrom. Videre antok de at 6 – 12 % av dette ville være implementert innen de neste 20 årene, altså innen 2019. Det har ikke vært gjort noen evaluering av hvor langt dette arbeidet har kommet. I Europa har et massivt prosjekt blitt satt i gang for å effektivisere luftrommet og øke kapasiteten. Single European Sky ble lansert i 2004 for å reformere arkitekturen i europeisk luftrom. Initiativet har flere målsetninger i ulike dimensjoner, når det kommer til klimagasser er målet å redusere CO₂-utslipp med 10 % innen 2020 (Eurocontrol, 2011). Boeing estimerer i sin siste miljørapport at effektiviseringspotensialet i ATM-systemet er på 12 %. (Boeing, 2014). Å ikke gjøre noe for å effektivisere luftrommet vil også ha en kostnad. Med trafikkøkningen som er forventet vil forsinkelsene og overbelastningene på ATM-systemene øke i årene fremover dersom tiltak ikke blir iverksatt.

Flygernes påvirkning

I et gjennomregulert miljø som moderne lufttransport er, begrenses ofte flygernes frihet til å utøve sitt håndverk slik de selv ønsker. Likevel finnes det fremdeles en rekke områder i det daglige hvor en flyger kan påvirke forbruk og utslipp.

Norwegians prosedyrer inneholder en rekke standardiserte teknikker og generelle anbefalinger som er innført for å redusere drivstofforbruket. Prosedyrene er imidlertid i enkelte tilfeller åpen for tolkning og bruk av teknikk. Teknikkene krever erfaring og ofte lokal kunnskap for å beherskes fullt ut. I tillegg vil motivasjon, opplæring og fokus på forbruk fra selskapet påvirke flygernes teknikk.

En-motors taxi

Nå et passasjerfly beveger seg på bakken, gjøres dette ved hjelp av de samme motorene som skal brukes til å få det i luften. Flymotorene er overdimensjonerte og lite effektive til denne oppgaven. En rekke flyselskaper har derfor innført prosedyrer som innebærer at de kun bruker én av to (eller evt. to av fire) motorer under taxi. Dette er vanligere i USA enn i Europa på grunn av forskjellige organiseringer av ATM-systemet på de to kontinentene som gir lengre taxetider i USA enn i Europa.

En-motors taxi prosedyre vil ikke halvere forbruket i den tiden kun en motor brukes. Dette skyldes i hovedsak to forhold. Noe merforbruk må medregnes på gjenværende motor da denne må flytte flyet alene. I tillegg til dette må APU'en fortsette å gå inntil begge motorer er startet da denne benyttes til å starte den siste motoren. Det vil eksistere operasjonelle begrensninger på taxing med én motor som vil variere fra selskap til selskap. Dette skyldes blant annet kontrollproblemer ved glatte taxebaner og muligheter for skader på infrastruktur eller annen trafikk som befinner seg rett bak flyet. Dette vil redusere besparingspotensialet av én-motors taxi i Norge da taxetidene er klart lengst i vintersesongen når de operasjonelle forholdene er mest utfordrende for en-motors operasjoner.

Det kan være en utfordring for flygerene å anslå forventet taxetid før avgang og derfor vanskelig å finne det optimale tidspunktet å starte den siste motoren. En motorstart vil kunne gjøres på i underkant av ett minutt og motoren trenger i tillegg optimalt 3 minutter

oppvarming før takeoff. Etter landing er situasjonen mer oversiktlig og en motor vil kunne stoppes etter en nedkjølingperiode på 3 minutter. Norwegian har for øyeblikket ingen prosedyrer som tillater eller beskriver en-motors taxi.

Vektreduksjoner

Kraften som skapes av en flyvinge gjennom aerodynamiske prinsipper kalles løft. Desto mer vekt vingen må løfte, desto større må denne kraften være. Når en flyvinge produserer løft så produseres også et biprodukt som kalles induisert luftmotstand. Indusert luftmotstand øker når løftet øker. Dette betyr at når et fly øker vekten, så øker også luftmotstanden og dermed øker drivstofforbruk og utslipp. (FAA, 2007)

Vektreduksjoner kan gjennomføres av flere aktører og i forskjellige aspekter.

Flyprodusentene og deres leverandører har lenge hatt et sterkt fokus på å utvikle lettere fly, noe som har resultert i at de nyeste flymodellene idag består av en høy andel komposittmaterialer. Flyselskapene har byttet ut interiør og seter, installert EFB og finjustert drivstoffplanleggingen for å spare vekt.

Mye av potensialet for vektreduksjoner er tatt ut, men det er fremdeles muligheter for ytterligere reduksjoner. Innenriks flyr blant annet Norwegians fly med fulle vanntanker selv på korte strekninger uten servering. Innholdet i vanntankene kan reduseres gjennom nye prosedyrer. Avfallstankene til flyet tømmes kun dersom de blir fulle eller i løpet av natten, dette kan gjøres hyppigere. Det finnes også potensiale for reduksjoner av vekt på utstyr i cockpit og kabinen. I tillegg kan man gjennom informasjon til flygerene, bedre planleggingssystemer, økte åpningstider på tilstøtende flyplasser og andre tiltak redusere mengden drivstoff som medbringes på hver avgang.

Optimalisering av lasting

Optimalisering av lasting kan utføres ved å plassere flyets nyttelast på en slik måte at tyngdepunktet nærmer seg bakre tillatte grenseverdi for tyngdepunkt. Dette fører til mindre aerodynamisk motstand som igjen fører til lavere drivstofforbruk (FAA, 2007). Norwegian har ingen prosedyrer for å optimalisere lastingen på en slik måte at balansepunktet flyttes så langt bak som mulig.

4. Data

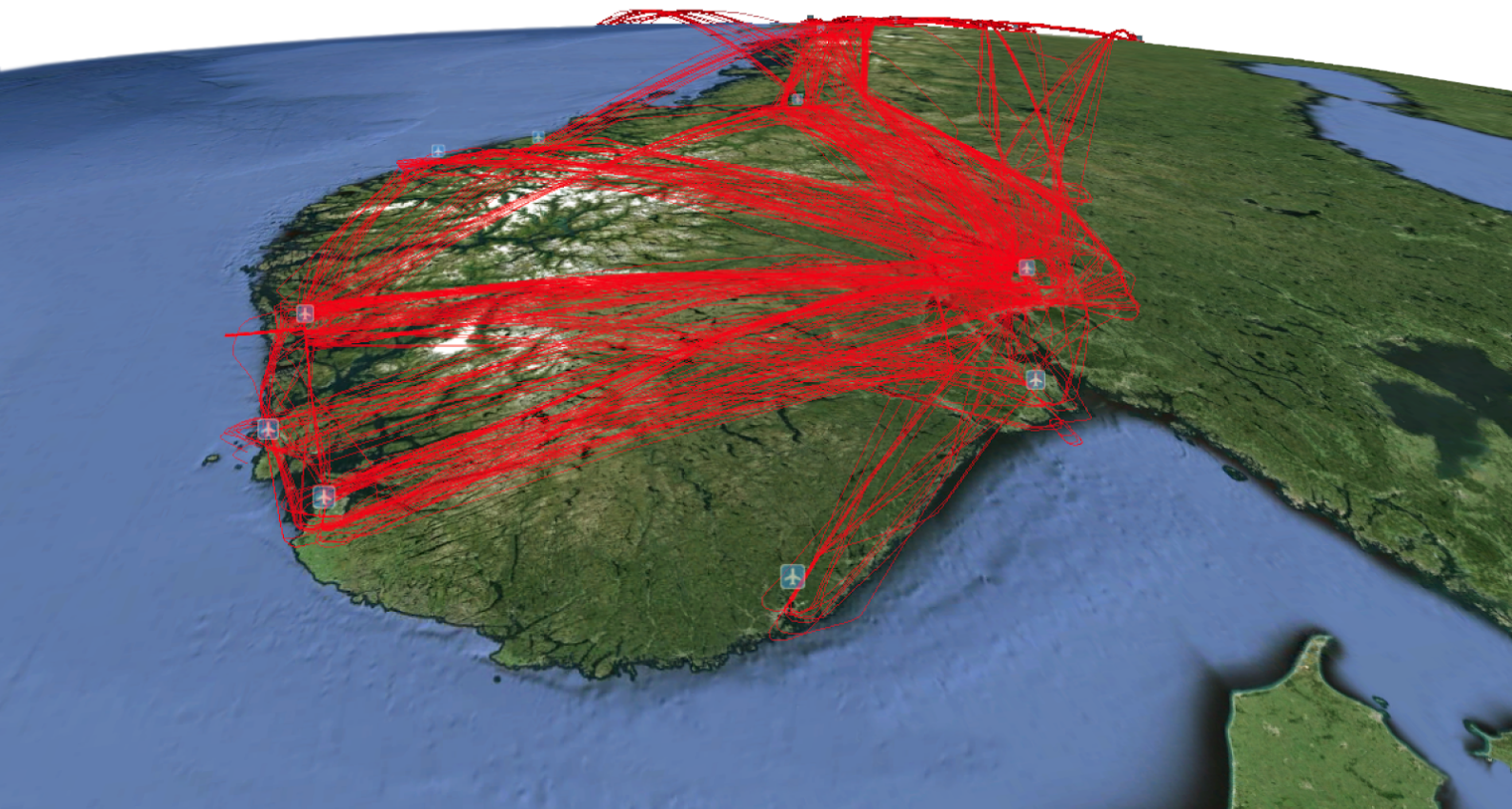
Denne rapporten baserer seg på kvantitative data i form av primærdata fra Flightradar24.com og sekundærdata fra Norwegian Air Shuttle. Dataene behandles som tversnittdata.

4.1 Datasett 1 - Faktisk tilbakelagt distanse

For å empirisk bevise gjennomsnittlig tilbakelagt distanse for flygninger på de 64 rutene analysert i denne rapporten, brukes primærdata fra nettstedet Flightradar24. Dette nettstedet presenterer radarspor fra flytrafikk historisk og i sanntid. Historiske data er samlet inn fra dette nettstedet og en programmeringskode skrevet av Turner, K. (2014) er brukt for importere disse dataene til programmet Google Earth for analyse. For detaljbeskrivelse av denne prosessen se appendiks A.

Disse dataene tillater analyse av 58 av de 64 rutene omtalt i denne rapporten. De resterende 6 rutene er det ingen Boeing 737 operatør som har operert etter Juli 2014 og historiske radarspor var derfor ikke tilgjengelig hos Flightradar24.com ved innsamling av data. Disse resterende 6 rutene er estimert basert på resultatene for tilsvarende ruter. Hver av rutene som er analysert har et minimum datagrunnlag på 10 flygninger. Det er gjort et unntak for 2 ruter der historisk data ikke er tilstrekkelig og 6 flygninger ligger her til grunn. Dataene er samlet inn fra flygninger i juli, august, september, oktober og november 2014. 15 tilfeldige datoer er valgt i perioden. På de ruter hvor disse 15 tilfeldige datoene ikke gir et tilstrekkelig antall observasjoner er ytterligere datoer tilfeldig valgt inntil ønsket utvalg er oppnådd. Utvalget varierer fra 6 til 57 flygninger per rute. De rutene med høyest daglig frekvens har størst utvalg og dermed det beste datagrunnlaget. Det totale utvalget er på 927 flygninger hvorav 867 er operert av Norwegian og 60 er operert av SAS. Norwegian flygninger er primært valgt for å kunne kobles direkte til datasettet fra Norwegian, men noen av rutene opereres i dag kun av SAS. Data fra SAS er derfor brukt. Arbeidet med innsamlingen av data er utført i perioden 21.10-10.11 2014.

Figur 4.1 Visualisering av datagrunnlag for faktisk tilbakelagt distanse.



Kvalitetssikring av data

Hvert enkelt radarspor er manuelt kvalitetssjekket. Dette innebærer en visuell sjekk i Google Earth av hvert radarspor og høydeprofil. Det er gjort en skjønsmessig vurdering av om det er mulig å gjennomføre radarsporet og høydeprofilen med en flymaskin. I noen områder med dårlig dekning er sporet ikke kontinuerlig. I slike tilfeller er radarsporet rekonstruert.

Avinor og OSL har også gitt tilgang til radarspor for ut- og innflygninger til OSL gjort 7. og 8. juli 2014. 4 flygninger fra dette datasettet er valgt ut og sammenliknet med Flightradar24s radarspor for samme flygning. Sporene og høydeprofilene er identiske.

Ulemper med dataene

- Dataene hentet fra Flightradar24.com er uoffisielle data og er gjort tilgjengelig av et nettverk av entusiaster med bakkemottakere. Det er rimelig å anta at det derfor kan forekomme unøyaktigheter grunnet feil på mottakere. Dersom store slike feil oppstår vil de bli filtrert under manuell kvalitetssjekk av radarspor og validering i henhold til appendiks A.
- I motsetning til B737-800 rapporterer B737-300 posisjon fra én del av sitt ombordnavigasjonssystem basert på lysgyroer. Hele systemet består av to lysgyroer og en korrigering primært basert på avstand til et bakkebasert radionavigasjonshjelpemiddel. Dette gjør at posisjonsfeil kan bli flere kilometer etter lengre flygninger for B737-300. Disse feilene vil variere uvilkaarlig i retning og det antas derfor at snittet av alle feil vil nærme seg null ved et stort antall flygninger. Kun et fåtall av observasjonene er gjort av flygninger utført av Boeing 737-300.
- Standardavviket per rute varierer fra 4 til 127 km. Grunnen til dette er et relativt lite utvalg på de fleste ruter.
- På de ruter hvor det forekommer flygninger med ventemønster i kombinasjon med et lite utvalg vil dette få stor innvirkning på gjennomsnittsverdien. Det velges likevel å ta med flygningene da dette skaper representativitet for hele utvalget.
- Dataene er hentet ut i sommer og høst måneder og man får dermed ikke med effekten av vinteroperasjoner i Norge. Dette fører normalt til flere flygninger med ventemønster som igjen vil føre til lengre gjennomsnittlig tilbakelagt distanse. Dette er ikke korrigert for.

4.2 Datasett 2 - Norwegians innenriksflygninger Norge 2013

I 2010 integrerte Norwegian Air Shuttle en ny IT-løsning i cockpiten på sine passasjerfly. På bransjespråket blir dette generelt betegnet som en Elektronisk Flight Bag (EFB). EFB løsninger har i luftfarten eksistert i forskjellige versjoner og kompleksitet siden tidlig på 1990-tallet. De første versjonene var ikke annet enn en vanlig bærbar PC. De tidligere versjonene ble typisk brukt til å beregne verdier nødvendig for avgang og landing. Med introduksjonen av berøringsskjermer og de senere årenes prisfall på disse har bruken av EFB i cockpit økt kraftig.

Innføringen av EFB medfører at det nå eksisterer digitale og ekstensive databaser som kan brukes i analyser. Når datamaterialet blir digitalt blir det også lettere tilgjengelig og det medfører også at analyser enklere kan utføres med en nøyaktighet som tidligere ville vært svært arbeidskrevende. Utfordringen med slikt materiale er at det ofte inneholder forretningshemmeligheter og flyselskapene vil være tilbakeholdne til utlevering for analyse.

Norwegian har stilt et datasett til rådighet for denne rapporten som inkluderer faktiske verdier for alle 47554 flygninger foretatt av Norwegian innenriks i 2013. Dataene er samlet inn av flygerene i operativ avdeling under kontinuerlig daglig operasjon gjennom EFB. I datasettet er hver flygning representert med én datalinje og variablene inkluderer dato, rutenummer, rute, flytid, taxetid, av-ising, forsinkelse i minutter, passasjerantall, nyttelast, gods og post, balanse, medtatt drivstoff, forbrukt drivstoff, flytype, flyets registrering, kapteins id, styrmanns id og id på føreren av flyet. Grunnet personvern hensyn er kapteins, styrmanns og førende flygers id anonymisert i datasettet.

Datasettet ble overlevert i Microsoft Excel format. Sortering og deskriptive analyser er utført i Excel. Datasettet er deretter eksportert til IBM SPSS Statistics og dette verktøyet er brukt til regresjonsanalyser.

For en detaljert beskrivelse av variablene i datasettet se appendiks B.

Kvalitetssikring av data

For å kunne trekke meningsfulle konklusjoner i analyser av datasettet må datalinjer med ekstremverdier som følge av feilføring, og datalinjer med manglende verdier utelukkes.

Trimmingen av datasettet beskrives i appendiks C, og 6,6 % av datalinjene ble sortert ut.

Utsorterte datalinjer blir medtatt i totalsummeringer og utregning av gjennomsnitt. Datalinjene blir da tildelt middelveidier for tilsvarende rute. I øvrige utregninger og analyser blir de utelatt.

Ulemper med dataene

- 6,6 % av datalinjene er sortert ut grunnet feilføring og manglende rapportering av verdier. Dersom noen flygere er overrepresentert i denne kategorien kan det føre til at de ikke blir med i senere analyser grunnet for tynt datamateriale.
- Drivstofforbruksmålere avleses i hele titalls kilo. Nøyaktigheten på rapportering av drivstoffdata er 10 kilo.
- Ved innrapportering av drivstofforbruk, medtatt drivstoff og gjenværende drivstoff må to eller tre målere summeres før innrapportering. I datasettet vises en overrepresentasjon av innrapportering på hele hundre kilo. Dette tolkes som at noen flygere runder av til hele hundre kilo når de summerer. Under forutsetning av at det rundes til nærmeste hundre vil det ikke gi andre konsekvenser for rapportens utregninger enn noe mindre nøyaktighet i analyser.
- Dataene er tastet inn manuelt. Dette åpner for feiltasting. De datalinjene med åpenbare feil er sortert ut, men mindre feil kan forekomme. Dette kan forekomme i alle inntastinger. Med størrelsen på datasettet antas dette ikke å nevneverdig påvirke gjennomsnitt, summeringer eller analyser.
- Justering for gods/post. En del av vekten som kalles nyttelast er gods eller post. Dette kan by på metodiske problemer ved utregning og vektning av forbruk og miljøutslipp. Beregninger viser at gods og post kun står for 0,3 % av nyttelastkilometer i dette datasettet og det velges derfor å se bort fra dette.

4.3 Sammenstilling av datasett

Funn fra datasett 1 “Faktisk tilbakelagt distanse” er sammenstilt med datasett 2 “Norwegians innenriks flygninger i Norge 2013”. Variablene “gjennomsnittlig tilbakelagt distanse” og “storsirkeldistanse” er lagt til datasett 2.

- Storsirkeldistanse: Storsirkeldistanse for den aktuelle ruten.
- Faktisk distanse: Gjennomsnittlig tilbakelagt distanse for den aktuelle ruten.

Dette gir et nøyaktig tall for avstand mellom flyplassene som er betjent på den aktuelle ruten og et estimat for faktisk tilbakelagt distanse for ruten som er fløyet.

Ulemper ved sammenstilling av datasettene

- Dataene fra Flightradar24.com er fra perioden Juli til November 2014, mens data fra Norwegian er fra 2013. I april 2013 ble Harmonization of OSL Procedures and the Environment (HOPE) innført i ved OSL hvor flytraséene ut og inn av OSL justert. En av hovedmålsettingene var reduksjon i utslipp av klimagasser gjennom kortere innflygning (Oslo Lufthavn, 2014). Det kan antas at tilbakelagt distanse er noe kortere etter implementering av HOPE. Norwegians drivstoffdata er fra hele 2013 og dermed både før og etter HOPE. Radarsporene er utelukkende etter implementering av HOPE. Dette er ikke korrigert for.

5 Metode

5.1 Energiforbruk og miljøutslipp per passasjerkilometer

Transportarbeid av passasjerer måles som produktet av distanse og antall passasjerer fraktet den gitte distansen. Holloway (2008) omtaler dette som revenue passenger-kilometre (RPK) og definerer det som én passasjer fløyet én kilometer. I denne rapporten brukes betegnelsen passasjerkilometer (PKM).

Miljøutslipp måles i denne rapporten i CO₂-ekvivalenter (CO₂e). CO₂e er en samlebetegnelse for klimagassutslipp målt i påvirkning av tilsvarende mengde ren CO₂ (Solomon et.al, 2007). Dette er beregnet basert på et utslipp av 3160 g CO₂, 0,0858 g CH₄ og 0,0863 g N₂O ved forbrenning av 1000 g Jet A1 i avgang og landingsfasen (LTO) og 3160 g CO₂, 0 g CH₄ og 0,0863 g N₂O ved forbrenning av 1000 g Jet A1 i marsjhøydesegmentet (Eggleston et.al, 2006). De to variantene av B737 som datasettet omfatter har en liten forskjell i utslipp av CH₄ i LTO. Utslipet i LTO beskrevet over er derfor vektet 73 % for B737-800 og 27 % for B737-300 da dette er fordelingen av flygninger mellom flytypene i datasettet brukt i denne rapporten. For å beregne marsjhøydesegmentet er gjennomsnittsdistanse for datasettet brukt (624 km). Utslippene av klimagasser er tildelt en faktor på 1 for CO₂, 21 for CH₄ og 310 for N₂O ved omregning til CO₂e (Solomon et.al, 2007). Gjennomsnittlig utslipp ved forbrenning av 1000g Jet A1 er beregnet til å være 3187g CO₂e for datasettet i denne rapporten. Disse utregningene er en forenkling av Tier 3, en av tre metoder for å estimere utslipp av klimagasser (Eggleston et.al, 2006) og anses tilfredstillende nøyaktig for arbeidet i denne rapporten.

Denne rapporten vil bevise empirisk at transport med fly tilbakelegger lengre distanse enn storsirkeldistanse ved å sammenlikne radarspor fra et utvalg av faktiske flygninger og storsirkel. Ut ifra dette vil det utregnes det utslipp etter faktisk tilbakelagt distanse. Dette gjøres for å få et bedre sammenligningsgrunnlag med andre transportformer. Utslipp etter storsirkel vil også bli

utregnet for å kunne sammenlikne funn fra denne rapporten med eksisterende forskning. Denne rapporten vil skille mellom utslipp rapportert etter storsirkel og utslipp rapportert etter faktisk distanse. For å regne utslipp i gram CO₂e per passasjerkilometer brukes følgende metode: Totalt forbruk av drivstoff i kilo multiplisert med faktoren for gram CO₂e-utslipp fra ett kilo Jet A1 på en gjennomsnittsflygning (3187), fordelt på totalt antall passasjerkilometer.

Formel Co₂e /PKM

Co₂e /storsirkel PKM = Σ Forbrukt drivstoff \times 3187 / Σ storsirkel PKM

Co₂e /Faktisk distanse PKM = Σ Forbrukt drivstoff \times 3187 / Σ Faktisk distanse PKM

5.2 Regresjonsanalyse

Regresjonsanalyse er en statistisk metode som brukes for å analysere sammenhengen mellom én avhengig variabel og én eller flere uavhengige variabler. Man kan se etter lineære eller ikke-lineære sammenhenger. En slik analyse vil ha et uforklart ledd som kalles residual (ϵ - epsilon). I regresjon søker man å finne det sterkeste forholdet mellom variablene basert på minste kvadraters metode gjennom å minimere summen av kvadratet av residualene (ϵ). (Wooldridge, 2006) Gjennom regresjon forsøkes det i denne rapporten å forklare hvordan utvalgte variabler (uavhengige variabler) påvirker drivstofforbruket (avhengig variabel). I denne rapporten undersøkes lineære sammenhenger og ikke-lineære sammenhenger mellom den avhengige variabelen og flere uavhengige variabler.

Måling av modellenes kvalitet

For å måle modellene mot hverandre brukes justert R-kvadrert verdi (justert R^2). Fordelen ved å bruke justert R^2 fremfor R-kvadrert verdi (R^2) er at av natur vil R^2 aldri synke når man legger til variabler. Den er derfor ikke egnet for å måle en modell mot en annen med de samme variablene og et tillegg av variabler. justert R^2 kan derimot synke dersom man legger til variabler som ikke har godt nok bidrag til modellen. (Wooldridge, 2006) For å måle de enkelte variablenes egnethet i modellen brukes t-test.

$$t_{\beta} = \beta / se(\beta)$$

Dette måler den estimerte betaverdien, β mot standardavviket til den estimerte betavekten, $se(\beta)$. (Wooldridge, 2006) En høyere absoluttverdi viser bedre egnethet enn en lavere absoluttverdi.

Valg av avhengig variabel

Drivstofforbruk velges som avhengig variabel. Det kunne også vært naturlig å velge CO₂e-utslipp som avhengig variabel i denne rapporten, men ettersom disse to variablene har en tilnærmet lineær sammenheng og enkelt kan omregnes med faktoren for CO₂e beskrevet i kapittel 5.1, velges den variabelen som gjør det enklest for leserne av denne rapporten å relatere til funnene. Under kapittelet om utslippsreducerende tiltak velges det å bruke funnene i regresjonsanalysen omregnet til CO₂e.

Drivere av drivstofforbruk

Oppbyggingen av regresjonsanalysen har vært trinnvis. Målet med analysen er først å identifisere og kvantifisere drivere av drivstofforbruk og til slutt å vurdere om det er signifikant sammenheng mellom drivstofforbruk og flyindivid og hvem som fører flyet. For å oppnå sluttmålet må analysen korrigeres for alle andre påvirkninger for å oppnå ellers like forhold (*Ceteris paribus*). Et annet delmål med analysen er å kvantifisere påvirkningen av variablene for bruk i prognoser for utslippsreducerende tiltak.

For å forenkle analysen og tolkning av resultater velges det å kun bruke data fra Boeing 737-800. Antall datalinjer som medgår i analysen er 32480 (N). Analysen “drivere av drivstofforbruk” deles inn i 5 trinn.

I analysens første trinn forsøkes det å bevise lineære sammenhenger mellom den avhengige variabelen “forbrukt drivstoff” og de uavhengige variablene flytid, medtatt vekt, taxetid, flyets balanse og den dikotome variabelen forsinket.

Taxetiden er for denne analysen korrigert for å reflektere tid med motorer i gang på bakken. Høye verdier i taxetid er som regel assosiert med “push and hold”. Dermed kan taxetid bli uforholdsmessig høy i forhold til tid med motorene i gang. På avganger uten avising er derfor taxetid korrigert til median for alle flygninger uten avising (12 minutter) dersom taxetiden er over 30 minutter. På avganger med avising er verdien korrigert til median for alle flygninger med avising (22 minutter) dersom taxetiden er over 60 minutter. Minste taxetid er korrigert til minste teoretiske tid det er mulig bruke med motorer i gang før og etter en avgang. Denne er satt til 6 minutter.

Regresjon: Drivere av drivstofforbruk - Trinn 1

$$\text{Forbrukt drivstoff} = \beta_0 + \beta_1 \text{Flytid} + \beta_2 \text{Medtatt vekt} + \beta_3 \text{Taxetid} + \beta_4 \text{Balanse} + \beta_5 \text{Forsinket} + \varepsilon$$

β_0 - Konstantledd

β_1 - Måler effekten av ett minutt flytid i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_2 - Måler effekten av ett kilo vekt per flygning i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_3 - Måler effekten av ett minutt taxetid med motorer i gang i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_4 - Måler effekten av endringen av en enhet i flyets balanse i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_5 - Måler effekten av at en flygning er mer enn 15 min forsinket i kg forbrukt drivstoff per flygning.

ε - Residual

Denne analysen beskriver tilfredstillende de lineære sammenhenger mellom alle uavhengige variabler og forbrukt drivstoff med ett unntak. Faktoren for balanse (β_4) mottar et negativt fortegn noe som er det motsatte av forventet. Forventningen begrunnes i at et baktungt fly har mindre aerodynamisk motstand enn et fremtungt gitt ceteris paribus (FAA, 2007). At regresjonen indikerer det motsatte antas å være grunnet at det eksisterer samvariasjon (colinearity) mellom variabelen balanse og variabelen medtatt vekt. En økning i vekt vil på grunn av flyets design normalt medføre en økning i variabelen balanse og modellen klarer derfor ikke å skille mellom påvirkningen av balanse og vekt. Variabelen balanse tilfører derfor ikke modellen verdi og forkastes i videre analyse.

Første trinn i analysen vekter alle variablene i like stor grad uavhengig av flygningens lengde. Det etableres så en hypotese om at det finnes en interaksjonssammenheng mellom variabelen medtatt vekt og variabelen flytid. Dette fordi én vektenhet fraktet kort tid ikke vil ha samme påvirkning (betavekt) som én vektenhet fraktet lang tid. Den samme hypotesen etableres for en forsinkelse. En forsinkelse forårsaker at man setter opp hastigheten og forbrenner mer drivstoff. Påvirkningen av høy hastighet i kort tid er ikke den samme som påvirkningen i lang tid. Det etableres derfor en interaksjonsvariabel for hver av disse.

Interaksjonsvariabel 1: Medtatt vekt \times flytid

Interaksjonsvariabel 2: Forsinket \times flytid

For å teste hypotesen inkluderes interaksjonsvariablene i tillegg til de opprinnelige variablene. Slik vil man kunne se hvordan påvirkningen av variablene fordeles mellom det faste leddet og interaksjonen. (Wooldridge, 2006)

Regresjon: Drivere av drivstofforbruk trinn 2.

$$\text{Forbrukt drivstoff} = \beta_0 + \beta_1 \text{Flytid} + \beta_2 \text{Medtatt vekt} + \beta_3 \text{Medtatt vekt} \times \text{flytid} + \beta_4 \text{Taxetid} + \beta_5 \text{Forsinket} + \beta_6 \text{Forsinket} \times \text{flytid} + \varepsilon$$

β_0 - Konstantledd

β_1 - Måler deleffekten av ett minutt flytid i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_2 - Måler deleffekten av ett kilo vekt per flygning i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_3 - Måler effekten av ett kilo vekt per minutt flytid i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_4 - Måler effekten av ett minutt taxetid med motorer i gang i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_5 - Måler effekten av at en flygning er forsinket i kg forbrukt drivstoff per flygning.

β_6 - Måler effekten av en forsinket flygning per minutt flytid i kg forbrukt drivstoff per flygning.

ε - Residual

Denne analysen viser at vekt fraktet en tidsenhet påvirker forbrukt drivstoff, mens en forsinkelse ikke påvirkes i like stor grad av flytiden. Begge interaksjonsvariablene beholdes i videre analyse. Man ser også at faktoren for flytid går ned. Dette skyldes at man deler effekten av flytid mellom flytid og interaksjonsvariablene med flytid.

I videre analyse ønskes det å beskrive effekten av de ulike karakteristikker hver rute har som påvirker drivstofforbruket. Dette er karakteristikker som ikke kan beskrives med andre data fra datasettet. Det er mulig å dele opp datasettet og se på hver enkelt av de 64 rutene for seg med den konsekvens at man får 64 separate analyser med et tilsvarende dårligere datagrunnlag for hver analyse. Dette vil også vanskeliggjøre de neste trinnene i analysen. Det ønskes derfor å se

på hele datasettet samlet. For å muliggjøre dette og samtidig ta høyde for de ulike rutevise karakteristikk, etableres det i trinn 3 én dikotom variabel for hver av de 64 rutene.

Rute 1...64 1 Flygningen er utført på denne ruten
 0 Flygningen er ikke utført på denne ruten

Det etableres så en referanserute for de 64 rutene. Dette gjøres ved å velge én av de dikotome variablene og ekskludere denne fra analysen. Slik blir alle faktorer (betavekter) for denne gruppen dikotome variabler målt i forhold til den ekskluderte variabelen (Wooldridge, 2006). De øvrige 63 dikotome variablene blir inkludert i analysen. Referanseverdi for ruter settes til ruten Bergen-Stavanger.

Regresjon: Drivere av drivstofforbruk trinn 3.

$$\text{Forbrukt drivstoff} = \beta_0 + \beta_1 \text{Flytid} + \beta_2 \text{Medtatt vekt} + \beta_3 \text{Medtatt vekt} \times \text{flytid} + \beta_4 \text{Taxetid} + \beta_5 \text{Forsinket} + \beta_6 \text{Forsinket} \times \text{flytid} + \beta_{7...69} \text{Rute}_{1...63} + \varepsilon$$

β_{0-6} - Lik de i Regresjon: Drivere av drivstofforbruk trinn 2

$\beta_{7...69}$ - Måler rutevise forskjeller mellom de 64 rutene i kg forbrukt drivstoff per flygning

ε - Residual

Denne analysen forklarer tilfredsstillende hvordan de forskjellige uavhengige variablene påvirker forbrukt drivstoff uavhengig av rutespesifikke forskjeller. Grunnene til de rutespesifikke forskjellene forsøkes ikke forklart i denne analysen.

I fjerde trinn av analysen inkluderes flyets registrering i analysen for å vurdere om det er statistisk sammenheng mellom drivstofforbruk og flyindivid. I løpet av 2013 har 72 B737-800 vært i produksjon innenriks i Norge. Disse har produsert 32480 flygninger. De har produsert i gjennomsnitt 451 flygninger. Noen av disse flyene har vært i produksjon kun deler av året og har dermed utført få flygninger. For å sikre et godt statistisk grunnlag gjøres et utvalg. Alle flyindivid som har utført færre enn 100 flygninger inkluderes ikke i videre analyse. 56 flyindivid har utført

mer enn 100 flygninger. Disse tildeles dikotome variabler. 451 datalinjer for de øvrige 16 fly inkluderes ikke i videre analyse. For å studere i hvilken grad flyindividet påvirker drivstofforbruket opprettes én dikotom variabel for hvert flyindivids registrering.

$$\text{Flyindivid}_{1\dots 56} \quad \begin{array}{l} 1 \text{ Flyindividet har fløyet denne flygningen} \\ 0 \text{ Flyindividet har ikke fløyet denne flygningen} \end{array}$$

Det etableres et referanseflyindivid for de 56 flyene. Dette gjøres ved å velge én av de dikotome variablene og ekskludere denne fra analysen. Referanseflyindividet settes til det individet som med lavest betavekt. Referanseflyindividet er etablert gjennom forsøk med forskjellige flyindivid som referanse. På denne måten blir alle betavekter for denne gruppen dikotome variabler målt i forhold til det ekskluderte flyindividet. 55 dikotome variabler for flyindivid blir inkludert i analysen.

Regresjon: Drivere av drivstofforbruk trinn 4.

$$\text{Forbrukt drivstoff} = \beta_0 + \beta_1 \text{Flytid} + \beta_2 \text{Medtatt vekt} + \beta_3 \text{Medtatt vekt} \times \text{flytid} + \beta_4 \text{Taxetid} + \beta_5 \text{Forsinket} + \beta_6 \text{Forsinket flygning} \times \text{flytid} + \beta_{7\dots 69} \text{Rute}_{1\dots 63} + \beta_{70\dots 124} \text{Flyindivid}_{1\dots 55} + \varepsilon$$

β_{0-69} - Lik de i Regresjon: Drivere av drivstofforbruk trinn 3

$\beta_{70\dots 124}$ - Måler flyindividenes merforbruk i kg forbrukt drivstoff per flygning sett i forhold til beste flyindivid.

ε - Residual

Denne modellen beskriver tilfredsstillende hvordan de ulike uavhengige variablene påvirker drivstofforbruket uten flygerens påvirkning. Modellen estimerer flyindividenes betavekter og i tillegg etableres et 95 % konfidensintervall. På denne måten beskrives usikkerheten i betavektene for hvert flyindivid.

I trinn 5 av analysen skal flygerens påvirkning på drivstofforbruk analyseres. I løpet av 2013 har 799 flygere vært i produksjon innenriks i Norge. Disse har produsert 32480 flygninger på

B737-800. De har produsert i gjennomsnitt 43 flygninger. Noen av disse flygerene har produsert få flygninger innenriks. For å sikre et godt statistisk grunnlag fjerner man observasjoner gjort av flygere med mindre enn 20 flygninger innenriks i 2013. 427 flygere har utført mer enn 20 flygninger innenriks. Disse tildeles dikotome variabler. 2503 datalinjer for de øvrige 372 flygere inkluderes ikke i videre analyse.

$Flyger_{1...427}$

1 Flygeren har ført flyet på denne flygningen

0 Flygeren har ikke ført flyet på denne flygningen

Det etableres én referanseflyger for de 427 flygerene. Denne ekskluderes fra analysen. Referanseflygeren settes til den flygeren med lavest betavekt. Referanseflygeren er etablert gjennom forsøk med forskjellige flygere som referanse. På denne måten blir alle betavekter for denne gruppen dikotome variabler målt i forhold til den ekskluderte flygeren. 426 dikotome variabler for flygere blir inkludert i analysen.

Regresjon: Drivere av drivstofforbruk trinn 5.

$$\text{Forbrukt drivstoff} = \beta_0 + \beta_1 \text{Flytid} + \beta_2 \text{Medtatt vekt} + \beta_3 \text{Medtatt vekt} \times \text{flytid} + \beta_4 \text{Taxetid} + \beta_5 \text{Forsinket} + \beta_6 \text{Forsinket} \times \text{flytid} + \beta_{7...69} \text{Rute}_{1...63} + \beta_{70...124} \text{Flyindivid}_{1...55} + \beta_{125...550} \text{Flyger}_{1...426} + \varepsilon$$

β_0-124 - Lik de i Regresjon trinn 4

$\beta_{125...550}$ - Måler flygerenes merforbruk i kg forbrukt drivstoff per flygning i forhold til referanseflygeren

ε - Residual

Ut ifra denne analysen estimeres flygerenes betavekter og i tillegg etableres et 95 % konfidensintervall. På denne måten beskrives usikkerheten i betavektene for hver flyger.

Forutsetning for regresjonsanalysen

Analysens trinn 5 forutsetter at det ikke er signifikant rutevis forskjell i flytid mellom flygere. Flygeren som fører flyet har til en viss grad mulighet til å påvirke flytiden. Det er mulig for flygeren å påvirke flytiden enten ved å endre hastigheten eller ved å redusere tilbakelagt distanse. Hastighetsendring kan skje ved at flygeren avviker fra standard prosedyre og flyr en annen enn anbefalt hastighet. Konsekvensen er at forbrukt drivstoff vil variere opp med høyere hastighet og gi lavere flytid og motsatt i motsatt tilfelle. Det er mulig for flygeren å redusere tilbakelagt distanse til en viss grad gjennom valg av innflygning (eksempelvis ved visuell innflygning i godt vær) og ved å påvirke lufttrafikkjenesten til å gi kortere rute gjennom å be om mer direkte rute enn den planlagte. Det er også flere faktorer utenfor flygerens kontroll som kan påvirke flytid. Dette kan være forsinkelser under flygning på grunn av vær, trafikk eller annen luftromsbegrensning.

For å kontrollere om det er en signifikant forskjell i flytid mellom flygerene gjøres en regresjonsanalyse der flytid er den avhengige variabelen forklart av de 63 dikotome variablene for ruter og de 426 dikotome variablene for flygere.

Regresjon: Flygerens påvirkning på flytid

$$\text{Flytid} = \beta_0 + \beta_{1..63} \text{Rute}_{1..63} + \beta_{64..489} \text{Flyger}_{1..426} + \varepsilon$$

β_0 - Konstantledd

β_{1-63} - Korrigerer for rutevise forskjeller mellom de 64 rutene i minutter flytid per flygning.

β_{64-489} - Måler flygerens avvik i flytid i minutter per flygning målt i forhold til referanseflygeren.

ε - Residual

Ut ifra denne analysen ser man at betavektene for flygerene har en variasjonsbredde på 9,1 minutter fra høyeste til laveste med et standardavvik på 1,0 minutt. Standardavviket på residualleddet er 4,5 minutter. Noe av variasjonen i betavektene kan tilskrives flygerens påvirkning, mens noe også kan tilskrives en over- eller underrepresentasjon av forsinkelser utenfor flygerens kontroll.

Dersom man ekskluderer de uavhengige variablene flytid og interaksjonsvariabler med flytid

fra regresjonsanalysen “Drivere av drivstofforbruk” trinn 5 kan flygerenes påvirkning av flytid innrømmes den enkelte flyger, mens systematiske forsinkelser utenfor flygerens kontroll også vil belastes flygeren. Ved å beholde flytid og interaksjonersvariabler med flytid i analysen vil ikke flygerens påvirkning på flytid innrømmes, mens forsinkelser utenfor flygerens kontroll vil bli korrigert for. Standardavviket på betavektene og det høye standardavviket på residualledet i regresjonsanalysen “Flygerens påvirkning på flytid” taler for at flygerens påvirkningen ikke er signifikant nok til at flytid og interaksjonersvariablene med flytid bør ekskluderes fra regresjonsanalysen.

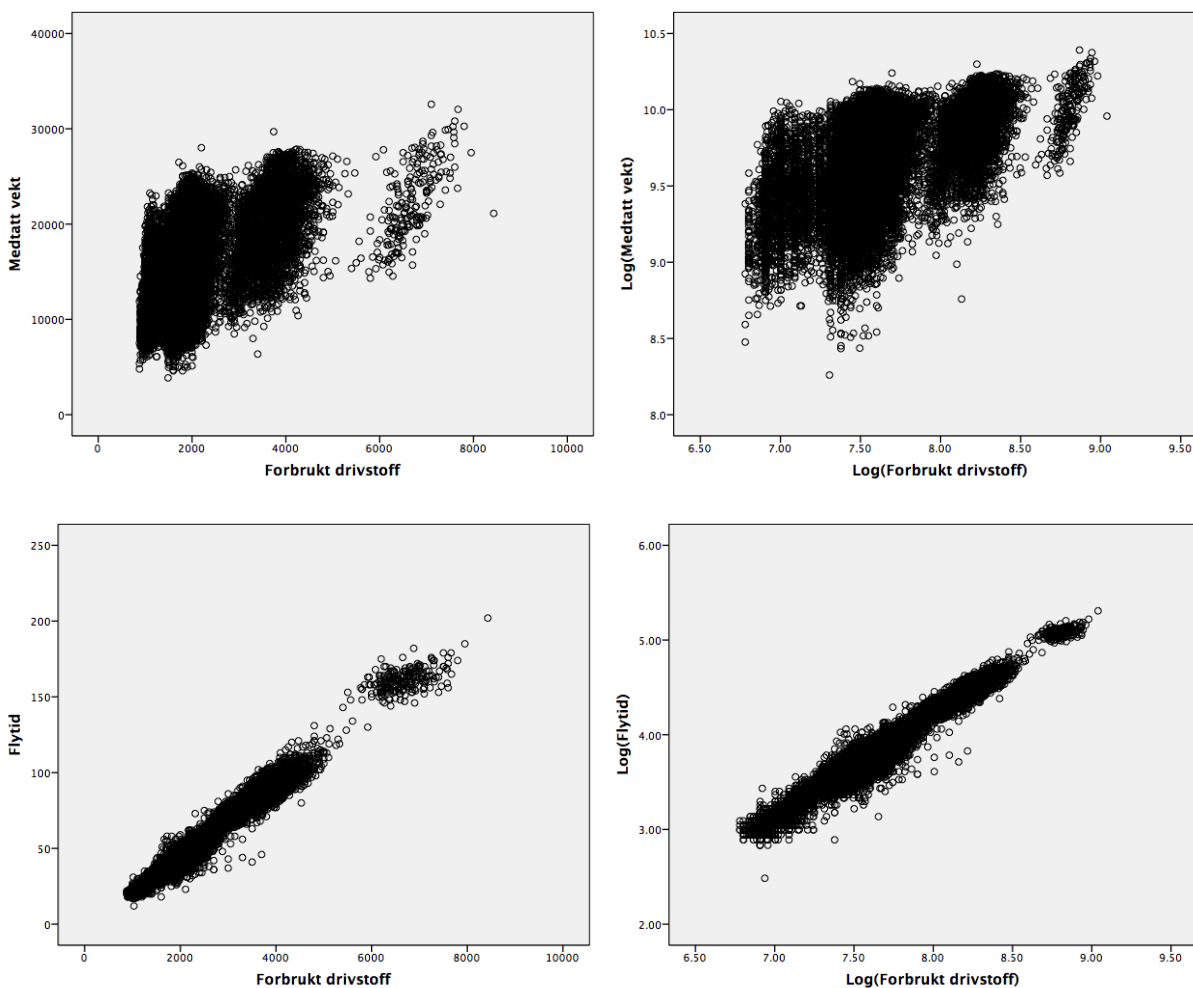
På bakgrunn av dette danner trinn 5 i regresjonsanalysen “drivere av drivstofforbruk” den endelige modellen.

Vurdering av logaritmiske (log) sammenhenger

I analysen forutsettes det at det eksisterer lineære sammenhenger mellom variablene.

En regresjonsmodell med log av de uavhengige variablene mot log av den avhengige variabelen er også forsøkt i trinn 1 regresjon av drivere. ($\log(y) = \beta_0 + \beta_1 \log(X_1) + \beta_2 \log(X_2) \dots$). Dette måler elastisiteten til y i forhold til x ($\% \Delta y = \beta_1 \% \Delta x_1 + \beta_2 \% \Delta x_2 \dots$) (Wooldridge, 2006). Det er ikke funnet bedre sammenhenger med den ikke-lineære modellen. For å teste for ikke-lineære sammenhenger mellom to av de største driverene og den avhengige variabelen er det i figur 5.1 sett på scatterplot mellom den avhengige variabelen og to av de uavhengige variablene, og et scatterplot av den naturlige logaritmiske verdien(log) av den avhengige variabelen og log av de to samme uavhengige variablene. Disse viser lineære sammenhenger og er tilsynelatende ikke mye forskjellig. Dette antas også å tale for en lineær modell.

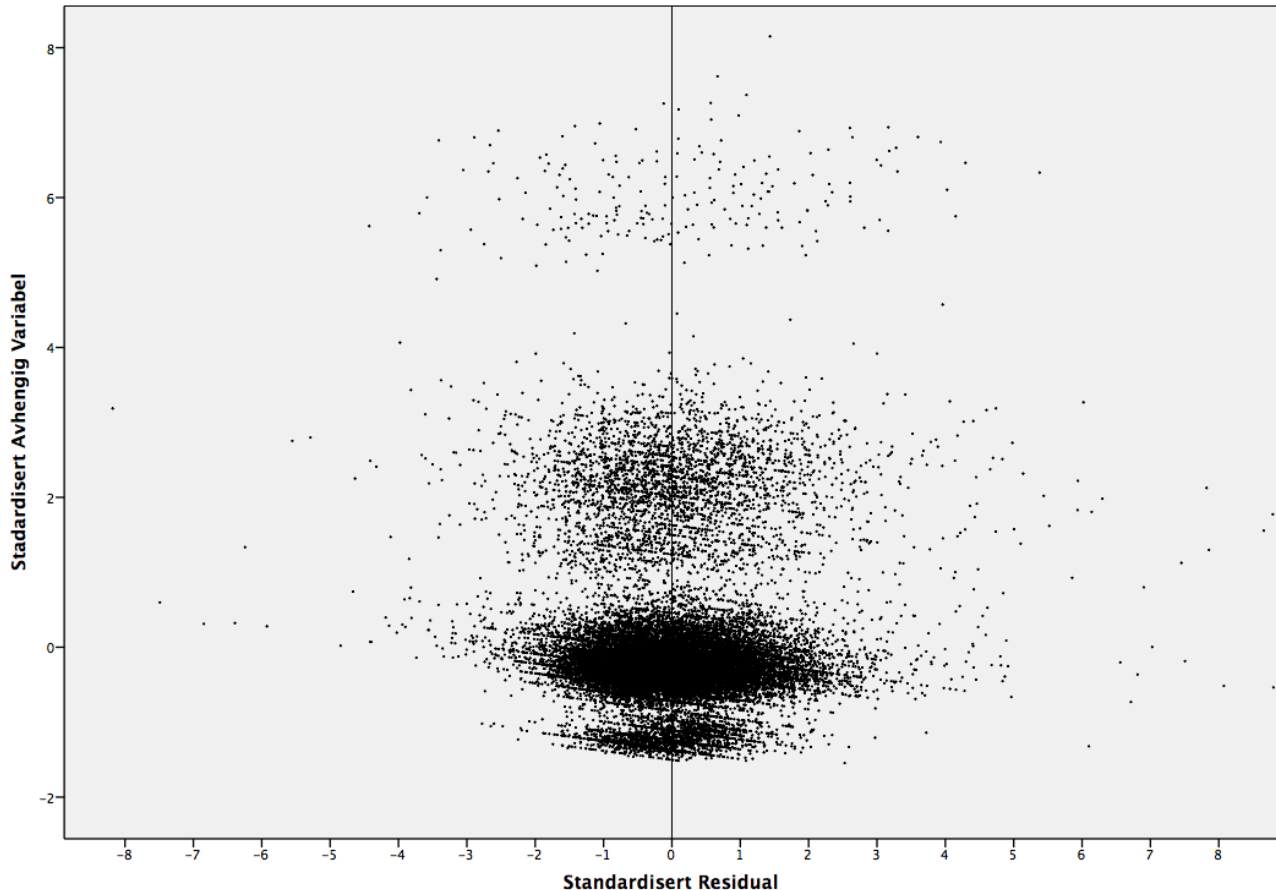
Figur 5.1 Scatterplot linearitet



Kontroll for heteroskedastisitet

En forutsetning for en regresjonsanalyse gjort etter minste kvadraters metode er at det eksisterer homoskedastisitet. For å kontrollere for heteroskedastisitet i regresjonsanalysen er det i figur 5.2 brukt et scatterplot med standardisert residual langs x-aksen og standardisert avhengig variabel langs y-aksen. Dette er en enkel metode for å se om feilledet varierer systematisk med variasjon i den avhengige variabelen. Y-aksen viser variasjonen i forbrukt drivstoff målt i antall standardavvik. De lengste flygningene havner øverst og de korteste havner nederst. Eksempelvis er den øverste samlingen av datapunkter rutene Oslo-Longyearbyen og retur, den neste samlingen ovenfra er Sør- til Nord-Norge og retur, den største samlingen av datapunkter representerer i hovedsak flygninger innen Sør-Norge og den nedre samlingen inkluderer de korteste flygningen (eksempelvis BGO-SVG) og retur. Her sammenliknes like ruter i hver samling av datapunkter og det viser at feilledet ikke varierer systematisk eller forskyves nevneverdig avhengig av rute eller lengde på strekningen. Det antas derfor at det eksisterer homoskedastisitet i analysen.

Figur 5.2 Heteroskedastisitet-test



Feilkilder regresjonsanalyse

- Dersom en flyger konsekvent runder opp eller konsekvent runder ned til nærmeste hundre ved rapportering av forbrukt drivstoff per flygning, vil betavekten for denne flygeren ende tilnærmet 50 kg høyere eller tilnærmet 50 kg lavere enn reelt.
- Flygere som systematisk flyr kortere distanse eller raskere innrømmes ikke fordelene av dette. Som beskrevet i regresjonsanalysen “Flygerens påvirkning på flytid” eksisterer denne systematikken, men i liten grad .

5.3 Utslippsreducerende tiltak

I de følgende avsnittene vil metoden for de utslippsreducerende tiltakene presenteres. Avsnittene vil presentere hvordan dataene analyseres for å komme frem til funnene som presenteres i kapittel 6.

For bedre å kunne estimere potensialet og virkningen på totalutslipp etableres et nulltiltaksscenario. Dette scenarioet representerer utslippene som kommer av trafikkøkningen forutsatt at ingen utslippsreducerende tiltak iverksettes. Det er tatt utgangspunkt i tallmaterialet for Norwegians innenriksflyginger i 2013 og TØI's prognoser for trafikkvekst i innenrikstrafikken (Madslien et. al, 2014). Basert på dette har det blitt etablert et nulltiltaksscenario gjennom antakelsene under.

- CO₂e-utslipp øker proporsjonalt med trafikkveksten (Kabinfaktoren er konstant).
- Veksten fordeler seg som en lik prosentandel hvert år.
- Ingen tankering finner sted innenriks i Norge.
- Veksten er prosentvis jevn i alle markeder (F.eks OSL vokser like mye som TRD).
- Veksten er prosentvis jevn for alle selskaper (Norwegian vokser like mye som markedet).
- Det antas en trinnløs tilførsel av kapasitet. I realiteten vil tilførselen være stegvis fordi den minste økningen man kan tilføre et bypar-marked er én ekstra flyavgang.
- Konkurrans- og sesongmessige variasjoner er ikke hensyntatt.
- Antall passasjerkilometer øker like mye som antall reiser. (Lengden på en gjennomsnittsreise er konstant).

De ulike tiltakenes virkning er basert på dette nulltiltaksscenarioet når totalutslipp analyseres.

Tiltaksanalysene baserer seg på datamaterialet og analysene som er gjort i denne rapporten. I tillegg støtter analysene seg på forskning der denne finnes og estimerer gjort av forfatterne. Hvilke estimerer som er gjort av forfatterne kommer tydelig frem i tekst og appendikser. Fordi det eksisterer usikkerhet i anslagene etableres tre scenarioer. Det mest sannsynlige scenarioet

betegnes som et normalanslag. I tillegg inkluderes et optimistisk og et pessimistisk anslag. Dette danner mulighetsrommet for tiltakene.

Biodrivstoff

Det som er avgjørende for utslippskuttene er tilgang til biodrivstoff med høy besparelsesgrad. Det er i antagelsene under satt en sammenheng mellom oppstart av produksjon av biodrivstoff i Norge og god tilgang for luftfarten i Norge. Normalanslaget har oppstart av biodrivstoffproduksjon i Norge i år 2025, det optimistiske i år 2020 og det pessimistiske har ikke oppstart av produksjon i Norge i det hele tatt (Rambøll, 2013). Videre antas det at innblanding av importert HEFA-biodrivstoff starter fra mars 2015 i henhold til Avinors planer annonsert i slutten av 2014. Utrekningene har tatt høyde for effekten av biodrivstoff fra 2016 (Avinor, 2014). Innblandingsforholdet av biodrivstoff i vanlig Jet A1 kan variere og vil kunne svinge med svingninger i oljepris, CO₂-kvotepris, råstoffpris osv. Innsparingskurvene kan derfor være mer volatile enn det disse antagelsene tilsier.

Klimaberegninger for biodrivstoff er et svært komplekst felt og endringer i metodikk og datagrunnlag kan føre til revisjoner av klimabesparelsene i fremtiden. Som en nedre grense på klimabesparing brukes 60 %. Denne prosentsetningen refererer til besparelsen i CO₂e-utslipp pr. kg drivstoff forbrukt i forhold til det fossile drivstoffet som erstattes. Dette er identisk med kravet EU stiller for at drivstoffet skal nulltelles, dvs holdes utenfor kvotesystemet. Det er usannsynlig at biodrivstoff vil være økonomisk lønnsomt uten denne sertifiseringen.

Biodrivstoff produsert før norsk produksjon settes i gang antas en klimabesparing på 60 %. Videre regnes 80 % besparing som et normalanslag basert på rapporten fra Rambøll (2013) på annen generasjons biodrivstoff produsert i Norge. Det antas at ved en oppstart av biodrivstoffproduksjon i Norge vil OSL få tilgang til dette drivstoffet tidligere enn andre flyplasser av logistiske grunner.

For en detaljert oversikt over antagelser om flyplasser, blandingsforhold, prosentvis besparing og årstall, se appendiks D₁.

Flåteutskiftning

Grunnlaget for utregningene er Norwegian's ordre av B737 MAX. Besparelsene vil variere etter hvor effektiv B737 MAX er i forhold til B737-800, hvor raskt B737 MAX fases inn i flåten og hvor raskt B737-800 fases ut av flåten.

Norwegian oppgir gjennom sin flåtesjef Tore Kristiansen (Norwegian, 2015) at de forventer å få overlevert det første flyet i midten av 2017. Det forventes ingen forsinkelser på nåværende tidspunkt og Boeing har så langt ligget foran tidsplanene i utviklingen av B737 MAX. Antall fly som leveres i årene fremover etter 2017 er ikke offentlig informasjon. Det antas at leveransene vil ligge på nivå med eller over nivået på leveransene av B737-800. Grunnen til dette er at ordren på B737 MAX er større enn på B737-800. I tillegg er flåten til Norwegian nå større slik at hvert nytt fly blir en mindre prosentvis økning enn tidligere og derfor lettere kan absorberes inn i operasjonen. Norwegian har mottatt mellom 11 og 16 B737-800 hvert år fra 2009 til 2014 med et gjennomsnitt på 13,5. (Norwegian, 2015)

Besparelsene for en B737 MAX 8 i forhold til nåværende flåte i Norwegian settes til 10 % i det pessimistiske anslaget, 12 % i normalanslaget og 14 % i det optimistiske.

Følgende forbehold er tatt i beregningene:

- Leveransene av fly er jevnt fordelt utover året og flyene blir satt i drift fortløpende.
- Effektivitetsforbedringene er jevnt fordelt utover innenriksnettverket.
- Norwegian følger sin uttalte strategi med å fase ut fly når de blir 7 år gamle (Norwegian, 2012).
- Flåtesammensetningen (prosentandel av B737 MAX) fordeler seg jevnt utover nettverket til Norwegian.
- Enkelte scenarioer forutsetter at Norwegian konverterer deler av kjøpsopsjonene de har på B737 MAX til faktiske ordrer (Den endelige flåten består av mer enn 100 B737 MAX).
- Det beregnes samme effektivitetsøkning fra B737-800 til B737 MAX som fra B737-300 til B737 MAX. Grunnen til dette er at denne rapportens analyser viser lik effektivitet innenriks i Norge på B737-800 og B737-300 både på totalutslipp og på enhetsutslipp (CO₂/PKM). Dette skyldes likt antall passasjerer i gjennomsnitt på de to flytypene og derfor en høyere kabinfaktor på B737-300 enn på B737-800.

- Det antas ikke innfasing av A320 NEO innenriks i Norge.
- Det antas at effektiviteten til B737 MAX holder seg på nivået som Boeing har anslått frem til 2025. I realiteten pågår det en kontinuerlig forbedringsprosess hos flyprodusentene.
- Indirekte effekter ved utskiftning av Norwegians flåte er ikke innberegnet i tallene. Med indirekte effekter menes effekten oppnådd ved at flyene som Norwegian selger og sender tilbake til utleier vil gå inn i trafikk andre steder. Mange av disse vil erstatte ennå eldre fly og dermed vil en få en indirekte effektivitetsforbedring.

For en detaljert oversikt over antagelser om leveranser, tilbakeleveringer og flåtesammensetning, se appendiks D₂.

Luftromseffektivisering

Denne rapporten har undersøkt faktisk tilbakelagt distanse for 927 flygninger innenriks i Norge. Disse flygningene danner grunnlaget for gjennomsnittlig målt merdistanse.

Gjennomsnittlig målt Merdistanse = Faktisk tilbakelagt distanse - storsirkeldistanse

Gjennomsnittlig målt merdistanse i datasettet er 45 km.

For å etablere minste mulige tilbakelagte distanse er det blitt konstruert 6 optimale flygninger mellom de 4 største flyplassene i Norge (OSL, BGO, SVG og TRD) hvor optimal trasé er valgt. Disse 6 flygningene er basert på undersøkelsene av faktiske flygninger og inneholder et rett strekke både før avgang og landing der begge rullebaneretninger er hensyntatt. De valgte punktene og lengden på de rette strekkene etter avgang og før landing er tar utgangspunkt i faktiske flygninger gjort på disse rutene. De faktiske flygningene inn til OSL som er lagt til grunn for distansen er nye innflygninger kalt RNAV visual og kan foreløpig kun utføres i bra vær. Det forventes at dette endres til å gjelde flygning under stort sett alle værforhold. Disse 6 optimale rutene danner grunnlag for *nedre grenseverdi merdistanse*:

Nedre grenseverdi merdistanse = optimal distanse - storsirkel

Den nedre grenseverdien for merdistanse er 22 km.

Effektiviseringspotensialet er forskjellen på gjennomsnittlig målt merdistanse og nedre

grenseverdi merdistanse:

Effektiviseringspotensiale = Gj.snittlig målt merdistanse - Nedre grenseverdi merdistanse

Dette gir et maksimalt effektiviseringspotensiale på 23 km i gjennomsnitt per flygning tilsvarende en 3,7 % reduksjon i distanse i gjennomsnitt.

For å omregne dette potensialet til CO₂e estimeres et normalforbruk av drivstoff på marsjhøyde, 2200 kg pr. time. Marsjhastighet over bakken anslås til 763 km/t, noe som tilsvarer en marsjfart på Mach 0,70 i en høyde på 30.000 fot uten vind og under standard forhold. Dette gir et maksimalt effektiviseringspotensiale på 211 kg CO₂e per flygning.

Andre forutsetninger som legges til grunn for beregningene:

- Det antas at RNAV-innflygninger til andre flyplasser enn OSL har et besparingspotensiale likt det man idag ser på OSL.
- Indirekte virkninger av tiltakene er ikke medregnet. Dersom en fartøysjef kan regne med å gjøre en RNAV-innflygning vil en kunne bære med seg mindre drivstoff og dermed spare vekt. I tillegg kan en i fremtiden kunne anta en mindre risiko for forsinkelser i et effektivt luftrom og dermed også kunne ta med seg mindre drivstoff, spesielt i perioder med mye trafikk. Besparelser som er et resultat av disse vektreduksjonene vil komme i tillegg til besparelsene denne rapporten presenterer.
- I scenarioet “uten tiltak” er det kun tatt høyde for fremtidig trafikkøkning i et luftromssystem med samme effektivitetsgrad som dagens. Fordi det hverken finnes tall eller forskning som kan anslå hvor mye mindre effektivt et fremtidig luftrom vil bli uten tiltak er det valgt å ikke justere for dette.
- I rutevis merdistanse er holding inkludert. Siden det antas at det ikke er mulig å effektivisere bort all holding i fremtiden er det optimistiske tiltaket ikke satt til 100 % reduksjon av merdistansen.

I normalanslaget er det beregnet at merdistansen blir redusert med 70 % i 2025. I det optimistiske anslaget er det 90 % og i det pessimistiske 20 %.

For en detaljert beskrivelse av anslagene i årene mellom 2013 og 2025, se appendiks D₃.

Flygerenes påvirkning

Regresjonsanalysen av datasettet viser flygerenes bidrag til merforbrukt drivstoff pr. flyging. Det antas at det vil være urealistisk å bringe alle flygerene ned på nivå med den flygeren som forbruker minst drivstoff. En nedre grenseverdi for merforbruk er derfor satt skjønnsmessig etter en vurdering av grafen i figur 6.3 som viser merforbruk av alle flygere. Nedre grenseverdi settes til 30 kg merforbruk pr. flyging. Flygerne under denne grensen representerer 2,1 % av alle flygere og antas å ikke ha et forbedringspotensiale.

Gjennomsnittlig merforbruk av flygerene over grenseverdien antas å kunne påvirkes ved endrede prosedyrer, økt fokus, opplæring og motivasjon. I normalanslaget antas det at de flygerene som ligger over nedre grenseverdi på 30 kg merforbruk kan redusere sitt merforbruk med 50 % i 2025. I det pessimistiske anslaget anslås 30 % og i det optimistiske 90 %.

For en detaljert oversikt over hvor store prosentandeler av merforbruk som antas spart i årene 2013 - 2025, se appendiks D₄.

En-motors taxi

Besparingspotensialet vil avhenge av hvor lang taxetid en har i forkant og etterkant av flygingen. I tillegg vil flygerene kunne utnytte taxetiden i forkant av flygingen optimalt dersom de besitter nøyaktig informasjon om forventet avgangstidspunkt.

Antagelser:

- taxetidene i tallmaterialet fra 2013 er benyttet som utgangspunkt.
- Året er delt i en vintersesong (november - mars) og en sommersesong (april - oktober). Besparelsene antas å være mindre i vintersesongen enn i sommersesongen.
- taxetidene antas å øke proporsjonalt med trafikkveksten.
- Gjennomsnittlig drivstofforbruk under taxi er satt til 350 kg/time pr. motor.
- Det antas at APU forblir på under taxi og at denne forbruker 80 kg/time.
- Merforbruk fra gjenværende motor antas å være neglisjerbart.
- Alle taxetider over 60 minutter er fjernet fra beregningene da det antas at disse flygingene har benyttet seg av "push and hold"-prosedyrer.
- Alle taxetider under 15 minutter er fjernet fra beregningene.

- På alle flyginger med et besparingspotensiale er 15 minutter satt av til oppvarming og nedkjøling av motorer og usikkerheter rundt forventet avgangstidspunkt.

I alle anslagene antas i 2025 en besparing av 90 % av mulige minutter i sommersesongen. I vintersesongen antas 0 % i det pessimistiske anslaget og 70 % i normalanslaget og det optimistiske anslaget.

For en detaljert oversikt over hvor store prosentandeler av taxetidene som antas spart i årene 2013 - 2025, se appendiks D₅.

Vektreduksjoner

CO₂e-besparelsene fra vektreduksjoner vil variere med hvor mye vekt som spares, antall flytimer som produseres og forholdet mellom vekt og drivstofforbruk.

Forholdet mellom vekt og drivstofforbruk er beregnet fra regresjonsanalysen av tallmaterialet av Norwegian sin innenriksflyginger i 2013. Analysene viser at Norwegian sin innenrikstrafikk har et merforbruk på 3,00 % av ekstra medbrakt vekt pr. flytime.

Antagelser:

- Analysene anslår potensialet for vektreduksjoner fra 50 kg til 250 kg pr. flyging.
- Antall flytimer øker proporsjonalt med trafikkvekst.

For en detaljert oversikt over antagelser om hvor store prosentandeler av flygingene fra hvilke flyplasser som antas å spare hvor mye vekt, se appendiks D₆.

Optimalisering av lasting

I regresjonsanalysen "Drivere av drivstofforbruk" kunne denne sammenhengen ikke bevises grunnet samvariasjon (colinearity) mellom variabler og det foreligger derfor ikke tall som kan brukes i videre analyse av tiltak. Dette tiltaket blir derfor ikke medtatt videre i denne rapporten.

Kabinfaktorens innvirkning på utslippene

Selv små endringer i kabinfaktoren har betydelige utslag på utslippene.

Følgende forutsetninger er tatt når kabinfaktorens innvirkning drøftes:

- Justering av forbruk grunnet redusert eller økt vekt er foretatt med resultater fra regresjonsanalysen.
- Vekten av en ekstra passasjer er beregnet til 95 kg. Dette inkluderer vekten av en gjennomsnittspassasjer på 84 kg og en innsjekket bagasje på 11 kg.
- Analysene tar for seg en gjennomsnittstur. I virkeligheten varierer kabinfaktorene betydelig med sesonger, tid på døgnet, ukedag, storsirkeldistanse mellom byparene, flytype og en rekke andre faktorer.
- Når tallene fra 2013 drøftes brukes gjennomsnittlig setekapasitet fra 2013.
- Når kabinfaktorens virkning frem mot 2025 drøftes, brukes forventet gjennomsnittlig setekapasitet i 2025.
- Trafikkveksten frem mot 2025 antas ikke påvirket av kabinfaktoren. En endring i kabinfaktor betyr derfor en endring i antall avganger.

6 Funn og drøfting

6.1 Utslipp fra Norwegians innenriksflygninger

Tabell 6.1 viser relevante verdier fra datasettet. Totalverdier og gjennomsnitt inkluderer alle flygninger gjort innenriks i Norge av Norwegian i 2013.

Tabell 6.1 Deskriptiv statistikk - Norwegians innenriksflygninger Norge 2013

Antall passasjerer	5 574 886
Antall flygninger	47554
Gjennomsnittlig kabinfaktor	66,7 %
Gjennomsnittlig kabinfaktor (distansevektet)	69,5 %
Passasjerkilometer storsirkel (mill km)	2 901
Passasjerkilometer faktisk distanse (mill km)	3 162
Forbrukt drivstoff (mill kg)	112,5
CO ₂ e-utslipp (mill kg)	355,4
CO ₂ e/faktisk distanse PKM (g/PKM)	112,4
Co ₂ e/storsirkel PKM (g/PKM)	122,5
Co ₂ e/storsirkel PKM (g/PKM) 350 km*	141,8
Co ₂ e/storsirkel PKM (g/PKM) 1100 km**	100,4
Kabinfaktor 350 km*	67,0 %
Kabinfaktor 1100 km**	75,4 %

*Alle ruter mellom 300-400 km, målt etter storsirkel.

**Alle ruter mellom 800-1400 km, målt etter storsirkel.

N: 47554

SSB (2015c) oppgir det totale utslippet av CO₂e fra innenriks luftfart i Norge i 2013 til 1,4 mill tonn. Skullerud ved SSB oppgir i epost (2015) at 1150 mill kg av dette kommer fra sivile flygninger med fly innenriks i Norge. Tabell 6.1 viser at det totale utslippet av CO₂e for alle innenriksflygninger gjort av Norwegian i 2013 utgjør 355,4 mill kg, noe som utgjør 31 % av SSBs rapporterte utslipp fra innenriksflygninger med fly.

I tabell 6.2 settes resultater fra denne rapporten i sammenheng med eksisterende forskning. For å gi likt sammenlikningsgrunnlag utregnes tall fra Avinor (2011) for samme kabinfaktor som i denne rapporten og korrigeres med et 9 % tillegg for utslipp regnet etter storsirkel etter funn i kapittel 6.2 av denne oppgaven.

Tabell 6.2 Enhetsutslipp sett i sammenheng med eksisterende forskning

Forfatter	Denne rapport	Avinor	Simonsen	Toutain	Schlaupitz	Lian
CO ₂ e/PKM (g)	100,4-141,8	104-117*	115-145	118-161	178-236	99-171**
PKM mål	Storsirkel	Storsirkel*	Storsirkel	Storsirkel	Storsirkel	Storsirkel
Grunnlagsdata	NAS B737-800	SAS B737-800	B737	SAS	SAS' utslippskalk.	SAS B737-800
Distanse (km)	1100-350	Ikke oppgitt	950-400	1114-324	350-280	1114-323
Kabinfaktor	75-67 %	75-67 %*	62 %	Ikke oppgitt	70 %	71-67 %
Årstall	2013	2011	2010	2008	2008	2007

*Utregnet for kabinfaktor 75 % og 67 % og korrigert 9 % for mål etter storsirkel.

**korrigert fra CO₂ til CO₂e

Av tabell 6.2 fremgår det at funnene i denne rapporten ligger i nedre del av eksisterende forskning. Spesielt på de lengre rutene innenriks i Norge viser funnene i denne rapporten lavere utslippstall enn det eksisterende forskning tidligere har hevdet. Hovedgrunnen til dette antas å være at den faktiske kabinfaktoren på de lengre rutene er høyere enn det tidligere forskning antar.

6.2 Effekten av rapportering etter faktisk tilbakelagt distanse

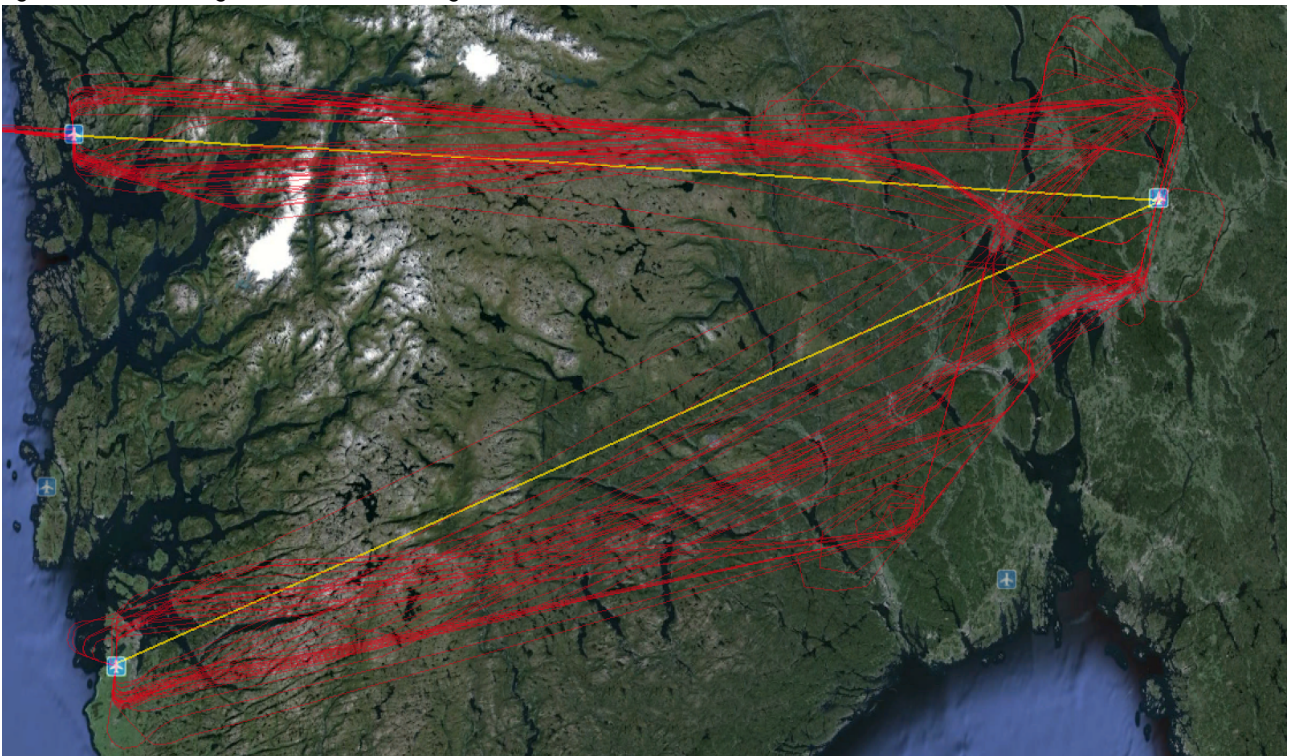
Tabell 6.3 inneholder deskriptive data for datasettet “Faktisk tilbakelagt distanse”. Tabellen viser data for korteste vei mellom de to flyplassene som betjenes (storsirkeldistanse), data for faktisk distanse og differansen mellom disse. Gjennomsnittlig differanse mellom storsirkeldistanse og faktisk tilbakelagt distanse er 45 km og median er 35 km. Figur 6.1 visualiserer dette for 2 av de 64 rutene. Det relativt store avviket mellom gjennomsnitt og median skyldes enkelte flygninger med ekstremverdier som har ligget lenge i holding. Det viser seg altså at man i dag flyr i gjennomsnitt 45 km , eller 8 % lengre enn storsirkel. Dette inkluderer flygninger som har ligget i holding.

Tabell 6.3 Deskriptiv statistikk - Faktisk tilbakelagt distanse

	Gjennomsnitt	Median	maks	min
Storsirkeldistanse	579 (398,5)	364	2020	159
Faktisk distanse	624 (406,0)	415	2113	159
Differanse	45 (40,5)	35		

Avstander oppgitt i kilometer. Standardavvik i parentes ().
N: 927

Figur 6.1 Visualisering av faktisk distanse og storsirkel



Faktiske flygninger BGO-OSL og SVG-OSL i rødt, storsirkel i gult.

Tabell 6.4 viser effekten av å rapportere CO₂e/PKM etter faktisk distanse kontra storsirkel. Den viser at utslippene for alle flygninger er 9 % høyere dersom man rapporterer etter storsirkel. Man ser også at denne effekten varierer for korte og lange flygninger. For korte flygninger mellom 300-400 km gir denne effekten en 12,9 % økning, mens for lange flygninger mellom 800-1400 km gir effekten kun en 5,7 % økning.

Tabell 6.4 Effekt av rapportering av CO₂e etter faktisk distanse

	Faktisk distanse	Storsirkel	Differanse %
Alle flygninger	112,4	122,5	9,0 %
Flygninger 350 km*	125,6	141,8	12,9 %
Flygninger 1100 km**	95,0	100,4	5,7 %

*Alle ruter mellom 300-400 km, målt etter storsirkel.

**Alle ruter mellom 800-1400 km, målt etter storsirkel.

Dette viser at enhetsutslipp målt etter storsirkel er betraktelig høyere enn enhetsutslipp målt etter faktisk distanse.

6.3 Drivere av drivstofforbruk

I tabell 6.5 vises resultatene fra trinn 1-5 i regresjonsanalysen “Drivere av drivstofforbruk”.

Tabellen viser hvordan effekten av de uavhengige variablene endres etterhvert som det legges til flere variabler. Dette er betavekten(β) til de uavhengige variablene. Hver enkelt av variablene forklares i detalj under.

Tabell 6.5 Resultater regresjonsanalyse: Drivere av drivstofforbruk

	Trinn1	Trinn 2	Trinn 3	Trinn 4	Trinn 5
Flytid	37,6 (1001,3)	29,3 (203,3)	19,6 (97,6)	19,4 (102,3)	20,3 (111,0)
Medtatt vekt	0,0228 (127,1)	0,0047 (13,4)	-0,0006 (-1,4)	-0,0008 (-2,0)	-0,0006 (-1,7)
Medtatt vekt \times flytid		0,00042 (58,9)	0,00050 (56,6)	0,00051 (60,5)	0,00050 (62,3)
Taxetid	10,8 (68,6)	10,9 (73,4)	11,2 (77,8)	11,2 (82,2)	11,4 (86,7)
Forsinket	59,7 (23,4)	57,9 (10,4)	38,5 (7,1)	37,4 (7,3)	44,8 (9,1)
Forsinket \times flytid		0,0 (0,3)	0,3 (3,2)	0,3 (3,3)	0,2 (2,7)
Balanse	1,83 (9,0)				
Ruter *			1211,8 [283,5]	1228,3 [283,1]	1164,0 [261,5]
Flyindivid **				116,9 [32,8]	116,6 [32,6]
Flygere ***					235,6 [32,5]
Justert R ²	0,976	0,978	0,982	0,984	0,986
N	32480	32480	32480	32029	29526

Avhengig variabel: Drivstofforbruk (kg).

Betavekter for variablene vises i tabellen. For Ruter, Flyindivid og Flygere vises variasjonsbredden i betavektene.

T-test i parentes ().

*Inneholder 63 dikotome variabler for ruter. standardavvik for betavektene i klammeparentes[].

**Inneholder 55 dikotome variabler for flyindivid. standardavvik for betavektene i klammeparentes[].

***Inneholder 426 dikotome variabler for flygere. standardavvik for betavektene i klammeparentes[].

Flytid

Denne uavhengige variabelen fra tabell 6.5 viser hvor mange kg drivstoff som forbrukes for hvert ekstra minutt flytid. Denne effekten er synkende fra trinn 1 til trinn 5. I trinn 1 forklarer flytiden 37,6 kg forbrukt drivstoff per minutt, tilsvarende 2256 kg per time, mens i trinn 5 reduseres betavekten til 20,3 kg per minutt flytid tilsvarende 1218 kg per time flytid. Her er det deeffekten av flytid som beskrives, eller effekten dersom medtatt vekt er lik null og flygningen ikke er forsinket. Dette er på grunn av at det legges til interaksjonsvariabler i trinn 2 der effekten av flytid fordels på vekt og forsinkelse fraktet det gitte antall minutter. Dette blir beskrevet i avsnittene under. I trinn 3 introduseres variablene for rute som gjør at effekten som beskrives går i retning av en marginalbeskrivelse heller enn en total beskrivelse av flytiden. I trinn 5 vil en variasjon på ett minutt flytid medføre en endring på 28,6 kg forbrukt drivstoff, eller 1716 kg drivstoff per time for en gjennomsnittsflygning dersom man inkluderer interaksjonsvariabler.

Flytid er den mest signifikante av driverene med en t-test fra 1001,3 i trinn 1 til 111,0 i trinn 5. Dette fremgår også av figur 5.1 i metodekapittelet der man kan se en sterk og lineær sammenheng mellom drivstofforbruk og flytid. Selv når effekten blir fordelt til interaksjonsvariablene forblir flytid den mest signifikante variabelen. Årsakene til variasjonen i flytid blir ikke beskrevet i denne modellen, men det antas at dette er nært knyttet til distanse. Distansevariabelen i dette datasettet er gjennomsnittlig og variabelen flytid vil derfor være det beste målet på merdistansen til en flygning.

Medtatt vekt

Denne uavhengige variabelen fra tabell 6.5 viser hvor mange kg drivstoff som forbrukes for hver ekstra kg medtatt vekt. Variabelen inkluderer nyttelast og medtatt drivstoff. I trinn 1 av analysen vises det at for hver ekstra kg vekt som medbringes forbrukes 0,0228 kg drivstoff, eller 2,28 % av medtatt vekt per flygning. Når interaksjonsvariabelen introduseres fordeles effekten mellom de to. Medtatt vekt blir et fastledd for påvirkning per flygning og interaksjonsvariabelen blir et variabelt ledd for påvirkning per minutt flytid. Effekten per flygning avtar og går mot 0 når interaksjonsvariabelen med flytid introduseres. I trinn 5 er absoluttverdien på t-testen 1,7 og variabelen vil derfor ikke anses som signifikant innen 95 % konfidensnivå. Variabelen er likevel beholdt da den danner en interaksjonsvariabel med flytid og derfor bør beholdes i analysen. (Wooldridge, 2006)

Medtatt vekt × flytid

Denne uavhengige interaksjonsvariabelen fra tabell 6.5 viser effekten av ett kilo fraktet ett minutt. Det går frem av forrige variabel at all effekt av medtatt vekt legges på denne interaksjonsvariabelen. Funnet i trinn 5 viser at ved å frakte ett kg ekstra vekt ett minutt forbrukes 0,00050 kg drivstoff. Dette tilsvarer 0,030 kg drivstoff per kg ekstra medtatt vekt per time, eller 3,0 % av medtatt vekt per time flytid.

Taxetid

Denne uavhengige variabelen fra tabell 6.5 viser hvor mange kg drivstoff som forbrukes per minutt taxetid med motorer i gang. I trinn 5 av analysen vises det at effekten av ett minutt taxetid er 11,4 kg drivstofforbruk. Dette inkluderer taxi ut før avgang og taxi inn etter landing. Median taxetid for datasettet er 12 minutter uten avising og 22 minutter med avising. Dette betyr at en avising normalt forårsaker 125 kg ekstra forbrukt drivstoff, noe som tilsvarer 398 kg CO₂e.

Forsinket

Denne uavhengige variabelen fra tabell 6.5 viser hvor mange kg drivstoff som forbrukes per flygning når en flygning er forsinket mer enn 15 minutter. I trinn 1 vises effekten av en forsinkelse som 59,7 kg økt drivstofforbruk per flygning. Denne effekten reduseres noe når interaksjonsvariabelen med flytid introduseres. Dette skyldes at effekten fordeles mellom de to. Forsinket flygning blir et fastledd for påvirkning per flygning og interaksjonsvariabelen blir et variabelt ledd for påvirkning per minutt flytid. Effekten av fastleddet forblir høy i trinn 5 og effekten av en forsinkelse vises som 44,8 kg per flygning uavhengig av flygningens lengde.

Forsinket × flytid

Denne uavhengige interaksjonsvariabelen fra tabell 6.5 viser effekten av en forsinkelse per minutt flytid. Hit fordeles den effekten som varierer med flytiden. I trinn 5 av analysen vises det at dette utgjør 0,2 kg økt drivstofforbruk per minutt flytid. Fordelingen mellom fastleddet og det variable leddet kan tolkes som at hoveddelen av det økte forbruket i forbindelse med en forsinkelse skjer i forbindelse med økt hastighet i utkltring og nedstigning. Effekten på drivstofforbruk av økt hastighet på marsjhøyde er betraktelig mindre enn effekten i utkltring og nedstigning. For en typisk flygning innen Sør-Norge på 40 minutter vil dette utgjøre 8 kg økt

drivstofforbruk. For en typisk flygning fra Sør- til Nord-Norge på 80 minutter vil dette utgjøre 16 kg økt drivstofforbruk.

Totaleffekt av en forsinkelse på en typisk flygning innen Sør-Norge blir 52,8 kg og for en typisk flygning fra Sør- til Nord-Norge 60,8 kg økt drivstofforbruk. Totalt 7,8 % av flygningene som var analysert faller under kategorien forsinket. Forutsatt at utvalget som er analysert er representativt for hele datasettet forårsaket forsinkelser en total økning på 0,20 tonn drivstofforbruk og 0,64 tonn CO₂e-utslipp, eller en total økning på 0,18 % for Norwegians innenriksflygninger i 2013.

Balanse

Denne uavhengige variabelen fra tabell 6.5 blir forkastet etter trinn 1 i analysen. Den viser en økning i drivstofforbruk når balansen flyttes bakover. Dette strider mot grunnleggende aerodynamikk (FAA, 2007). Resultatet er antatt å skyldes samvariasjon med den uavhengige variabelen vekt.

Ruter

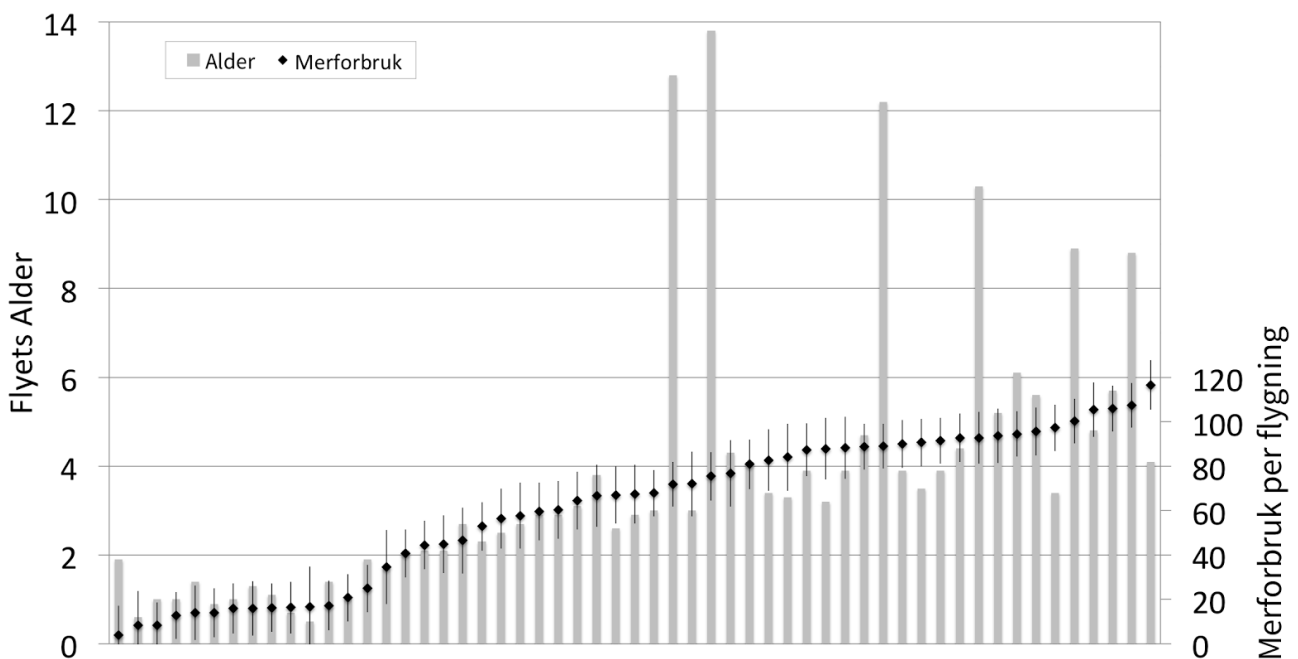
Denne verdien i tabell 6.5 viser variasjonsbredden for de 63 dikotome variablene for ruter som er inkludert i analysen. Disse variablene korrigerer for rutespesifikke forskjeller mellom flygningene. En økning i justert R² viser at disse variablene tilfører modellen verdi og etablerer ceteris paribus.

Flyindivid

Denne verdien i tabell 6.5 viser variasjonsbredden for de 55 dikotome variablene for flyindivid som er inkludert i analysen. Effekten hvert enkelt flyindivid har på drivstofforbruk måles per flygning. Av tabellen vises det at forskjellen mellom det minst og mest drivstoffeffektive flyindividet er på 116,6 kg drivstoff per flygning. Standardavviket mellom betavektene er på 32,6. På en gjennomsnittlig flygning med et drivstofforbruk på 2300 kg utgjør denne forskjellen 5 %.

Dette viser at det er stor forskjell på de forskjellige B737-800. I figur 6.2 presenteres merforbruket for hvert flyindivid sammen med alderen på flyet ved utgangen av 2013 (Planespotters.net 2015).

Figur 6.2 Flyindividets merforbruk (kg) og flyindividets alder (Planespotters.net 2015)



95 % konfidensintervall indikeres av vertikale høy- og lav-linjer. Dette indikerer usikkerheten i betavektene. Merforbruk vises i kg drivstoff per flygning

Det er en klar sammenheng mellom alder på flyene og flyets merforbruk. Denne forskjellen kan tilskrives forbedringer av B737-800, men den kan også tilskrives økt forbruk med alder. Fra midten av 2011 ble alle nye B737 levert til Norwegian med en ny og forbedret motorteknologi (Evolution engines). Man finner disse igjen i figur 6.2 med alder 2,5 eller mindre. Disse utgjør 21

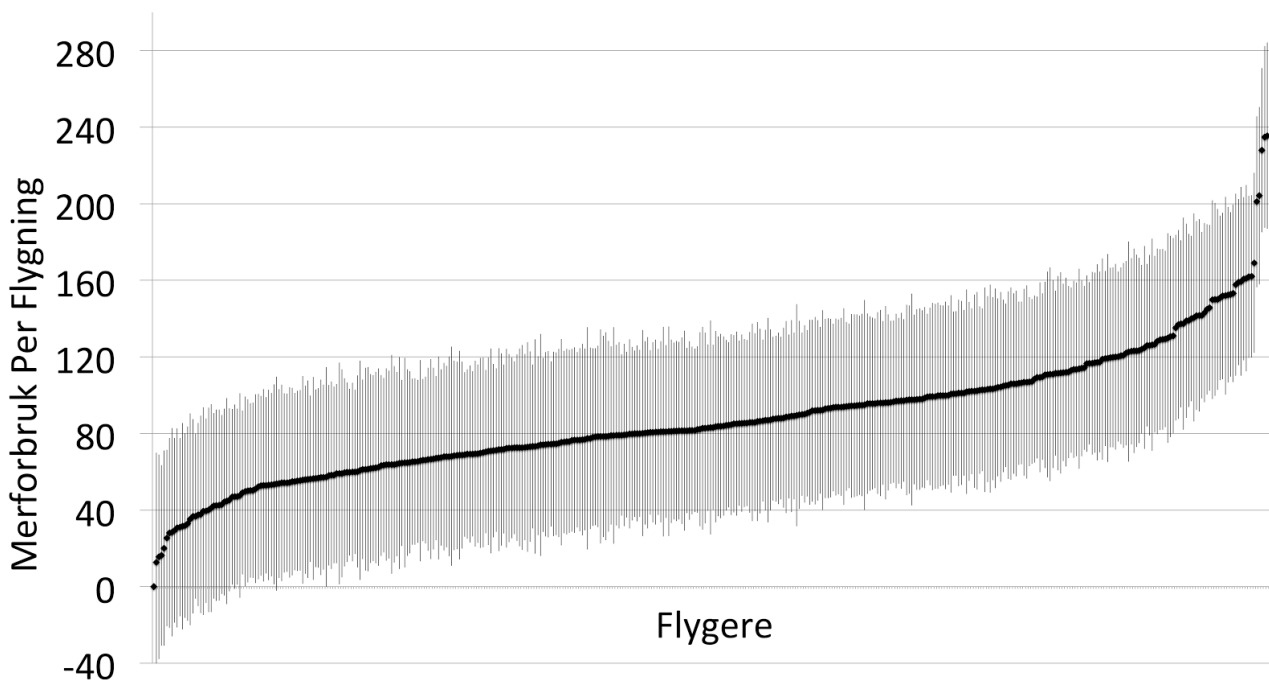
av de 22 flyene med lavest forbruk. Økt forbruk med alder kan skyldes utvendige skader som gir behov for utvendig platearbeid. Det er også installert utvendige antenner for oppkobling mot internett. Dette skjer normalt en stund etter flyet fases inn i produksjon, men nøyaktige data på dette er ikke tilgjengelig i denne rapporten. Boeing (2014) hevder at en B-737-800 produsert i 2015 kan være 6 % mer effektiv enn en B737-800 produsert i lanseringsåret 1998. Funnene i denne rapporten understøtter dette. Det er dog usikkert hvor mye av forskjellen som kan tilskrives forbedringer av nye fly og hvor mye som tilskrives økt forbruk med alder eller påmontert utstyr.

Det finnes noen ekstremverdier i alder som ikke påvirker forbruk som forventet. Dette er fly som er eldre enn 8 år. Disse ligger i øvre halvdel av merforbruket, men jevnt spredt. Dette er et feilledd i sammenhengen mellom alder og drivstofforbruk som ikke kan forklares.

Flygere

Denne verdien i tabell 6.5 viser variasjonsbredden for de 426 dikotome variablene for flygere. Denne effekten måles i kg drivstoff per flygning. Forskjellen mellom den mest drivstoffeffektive og minst drivstoffeffektive flygeren er på 235,6 kg per flygning. Standardavviket mellom flygerene er på 32,5 kg. I figur 6.3 vises utvalget av flygere målt i forhold til den flygeren med lavest forbruk per flygning. Flygerene listes kumulativt på x-aksen.

Figur 6.3 Flygerens påvirkning på drivstofforbruk



Betavekter for hver enkelt flyger indikert i sort.

95 % konfidensintervall indikeres av vertikale høy- og lav-linjer og indikerer usikkerheten i betavektene.

Merforbruk vises i kg drivstoff per flygning.

Flygerenes mulighet til å påvirke drivstofforbruk i denne analysen antas å være gjennom:

- planlegging og gjennomføring av nedstigningsfasen
- valg av marsjhøyde

Effekten av fartøysjefens valg om å ta med ekstra drivstoff ligger ikke under denne variabelen. Dette vil påvirke drivstofforbruket, men havner under variabelen medtatt vekt. 95 % av flygerene ligger i en variasjonsbredde på 130 kg i intervallet 30-160 kg. Ved en gjennomsnittsflygning med 2300 kg drivstofforbruk tilsvarer dette en 6 % forskjell. For å sette dette i perspektiv tilsvarer 130 kg merforbruk 5000 kg ekstra medtatt vekt på en gjennomsnittsflygning.

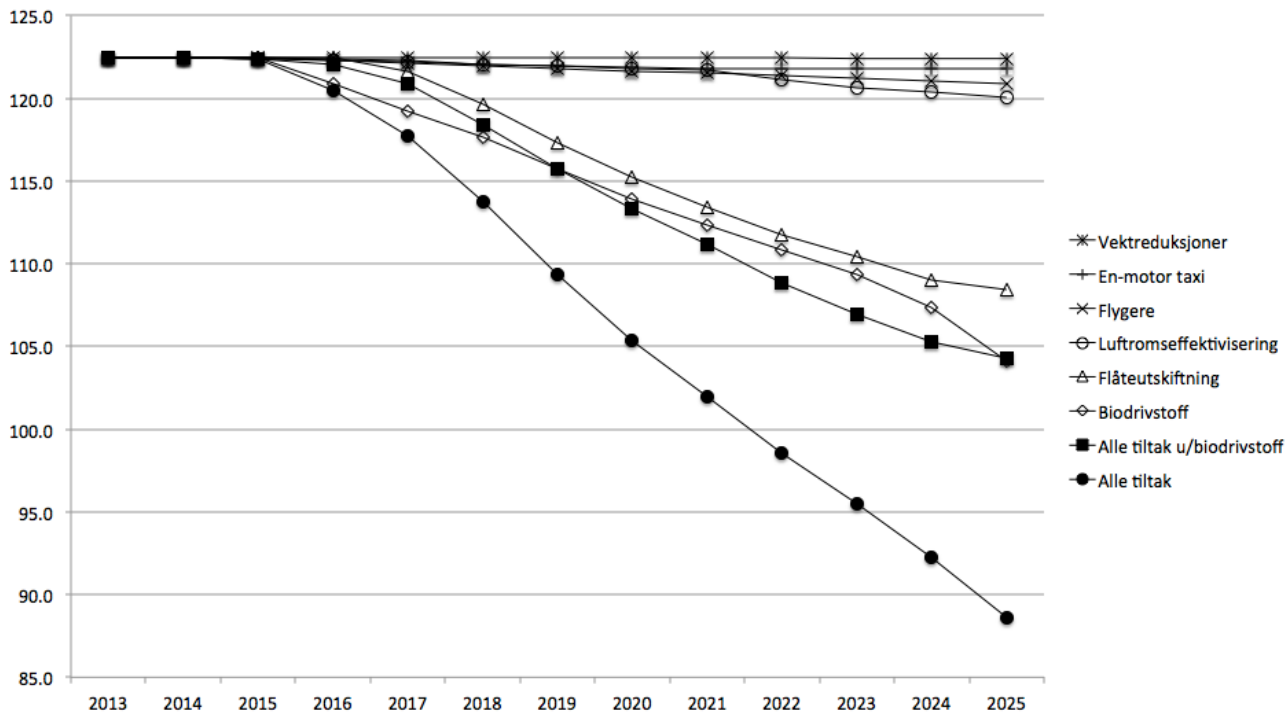
6.4 Utslippsreducerende tiltak

I dette kapitlet presenteres resultatene av de utslippsreducerende tiltakene som er vurdert. Presentasjonen deles i tre deler, første del omhandler enhetsutslipp og andre del totalutslipp. Del tre omhandler kabinfaktorens påvirkning på utslippene. Når tiltakene vurderes samlet vil de påvirke hverandre, dette er hensyntatt i “Alle tiltak” og “Alle tiltak u/biodrivstoff”.

Enhetsutslipp

I figur 6.4 er alle tiltakenes potensiale til å redusere enhetsutslipp presentert i en figur for sammenligning. Figuren viser effekten av normalanslaget for hvert enkelt tiltak, for alle tiltak samlet og for alle tiltak utenom biodrivstoff. Begrunnelsen for en separat fremstilling av alle tiltak med og uten biodrivstoff er at produksjonen av andre generasjons biodrivstoff er en umoden teknologi og horisonten for oppstart er usikker.

Figur 6.4 Sammenstilling av alle tiltak, enhetsutslipp (g CO₂e/storsirkel PKM), 2013 - 2025



De ulike tiltakene skiller seg ut i to grupper, der biodrivstoff og flåteutskiftning er de klart mest effektive tiltakene.

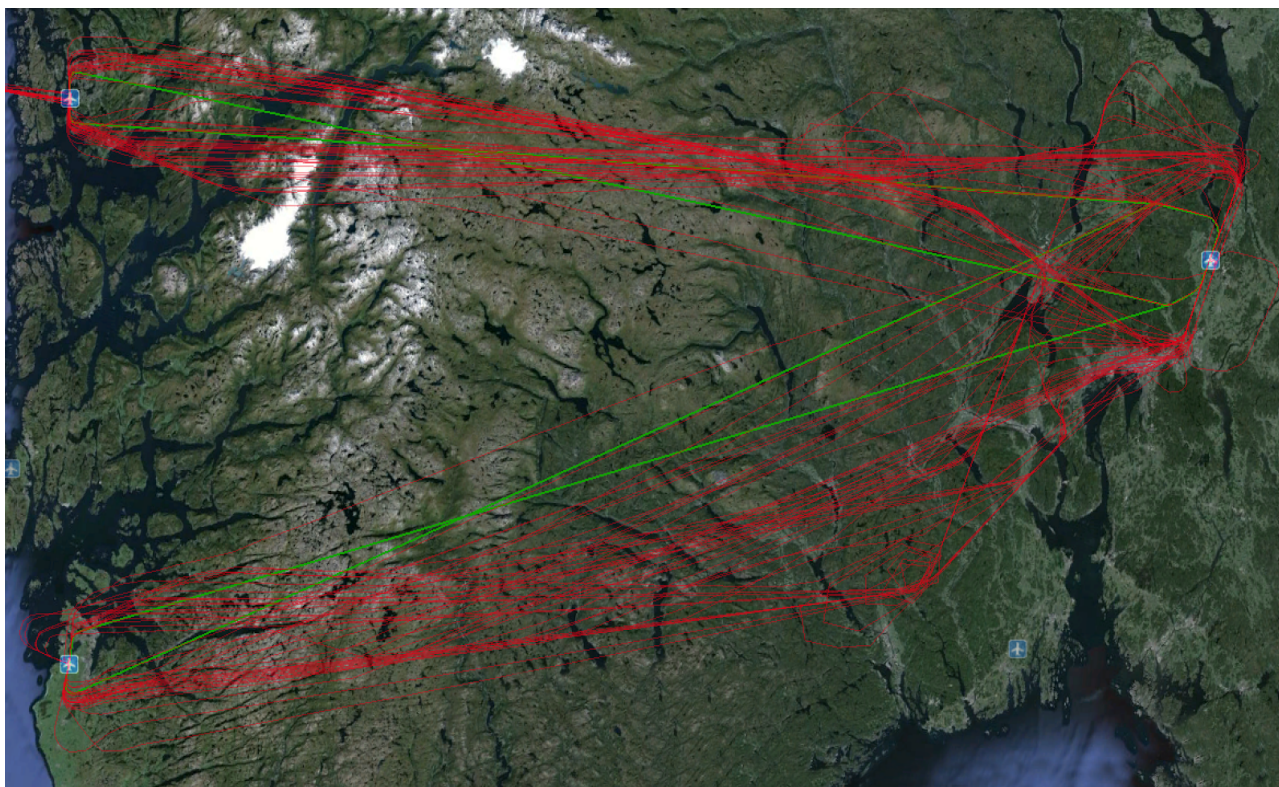
Tabell 6.6 viser oversikten over alle tiltak i 2025 sett i forhold til 2013-verdier.

Tabell 6.6 Oversikt over alle tiltak, enhetsutslipp

	Normalanslag (%)	Mulighetsrom (%)	
		Pessimistisk	Optimistisk
Biodrivstoff	-15,0	-8,2	-27,5
Flåteutskifting	-11,5	-7,9	-14,0
Luftromseffektivisering	-2,0	-0,4	-2,5
Flygere	-1,3	-0,8	-2,3
En-motors taxi	-0,6	-0,2	-0,6
Vektreduksjoner	-0,1	-0,0	-0,1
Alle tiltak	-27,6	-16,7	-41,0
Alle tiltak u/biodrivstoff	-14,9	-9,2	-18,7

Tiltaket luftromseffektivisering viser i det optimistiske scenarioet et potensiale til å redusere enhetsutslippene med 2,5 % frem til 2025. Dette anslaget er langt lavere enn annen forskning som anslår potensialet på 8 - 18 %. En del av forskjellen kan forklares med at trafikken innenriks i Norge ikke er preget av de samme kapasitetsproblemene som i Europa. Trafikkavviklingen i Norge er, relativt sett, forholdsvis effektiv. Tiltaket luftromseffektivisering visualiseres i figur 6.5.

Figur 6.5 Visualisering av potensialet for distansereduksjon



Optimale flygninger for SVG-OSL og BGO-OSL i grønt

Faktiske flygninger for SVG-OSL og BGO-OSL i rødt

Alle tiltakene vil gi et årlig besparingspotensiale på 2,7 % i perioden 2013 -2025 med et mulighetsrom på 1,5 % - 4,3 %. Alle tiltak uten biodrivstoff viser et årlig besparingspotensiale på 1,3 % med et mulighetsrom på 0,8 % - 1,7 %.

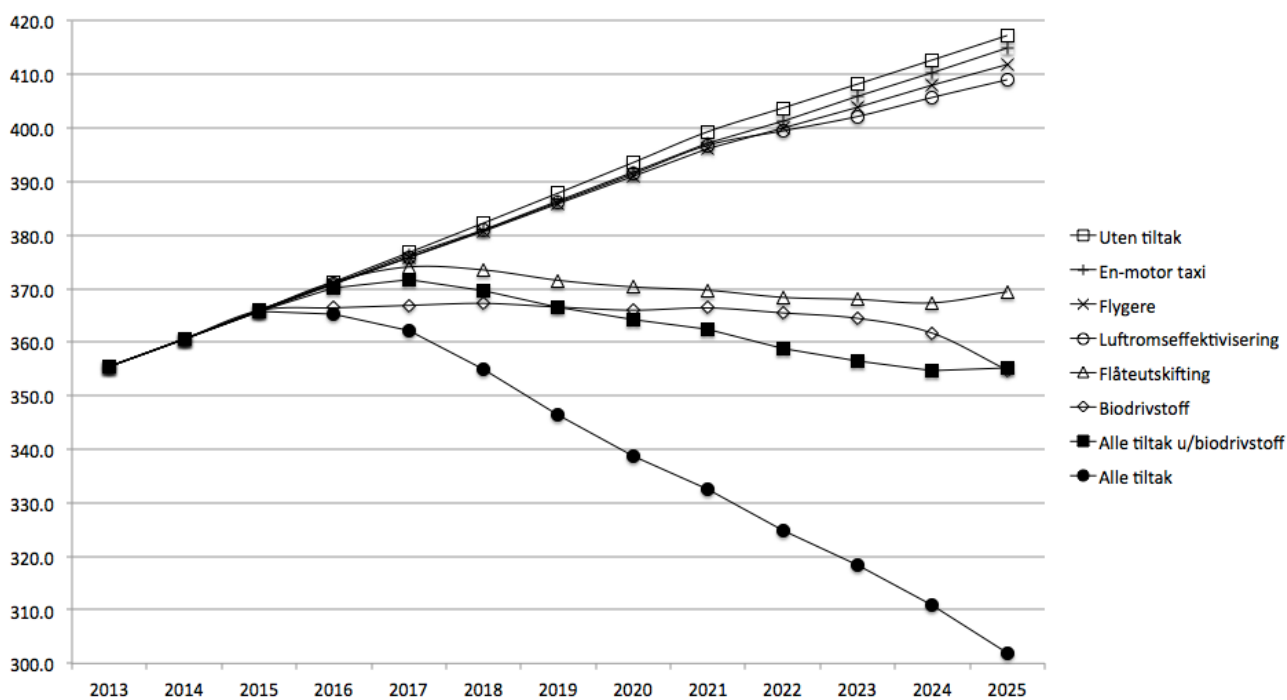
I sin rapport “Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart” (Avinor, 2011) anslås mulighetsrommet uten biodrivstoff til en årlig besparing på 2,6 - 3,6 % i perioden 2007-2020. Forskjellene virker først og fremst å ha med anslagene for flåteutskifting å gjøre, noe som er naturlig tatt i betraktning de forskjellige tidsperiodene rapportene undersøker og dermed også overganger mellom forskjellige flytyper. Det høye anslaget inklusive biodrivstoff anslås til en årlig besparing på 4,3 %, i begge rapportene. Dette betyr at det optimistiske anslaget for virkningen av biodrivstoff er høyere i denne rapporten enn i rapporten fra Avinor.

Enhetsutslippene dersom alle tiltak blir gjennomført vil i 2025 være 83,7 g CO₂e/PKM målt etter faktisk distanse og 88,6 g CO₂e/PKM målt etter storsirkel. Alle tiltak uten biodrivstoff vil gi et enhetsutslipp på 98,5 g CO₂e/PKM målt etter faktisk distanse og 104,2 g CO₂e/PKM målt etter storsirkel.

Totalutslipp

I figur 6.6 er alle tiltakenes potensiale til å redusere totale utslipp presentert i en figur for sammenligning. Tiltaket vektreduksjoner har en så marginal virkning at det har blitt utelatt fra figuren for å bedre den grafiske presentasjonen. Effektene av normalanslaget for hvert enkelt tiltak, for alle tiltak samlet og for alle tiltak uten biodrivstoff sees her i sammenheng med forventet trafikkvekst (nulltiltaksscenarioet).

Figur 6.6 Sammenstilling av alle tiltak, totalutslipp



Utslipp i mill. kg/år

Analysene av totalutslippene viser at uten innføring av biodrivstoff vil totalutslippene fra luftfarten kunne stabiliseres på 2013-nivå ved å effektivisere bruken av fossilt drivstoff. For å

kunne redusere utslippene i betydelig grad under dagens totalutslipp må fossilt drivstoff delvis erstattes av biodrivstoff.

I tabell 6.7 vises tiltakenes effekt på totalutslippene sammenlignet med 2013. Dette er gjort for å vise i hvilken grad de ulike tiltakene, hver for seg eller sammen, har muligheter til å stanse økningen i totalutslipp som kommer fra trafikkveksten. Nulltiltaksscenarioet viser en økning i utslippene på 17,4 % fra 2013 til 2025.

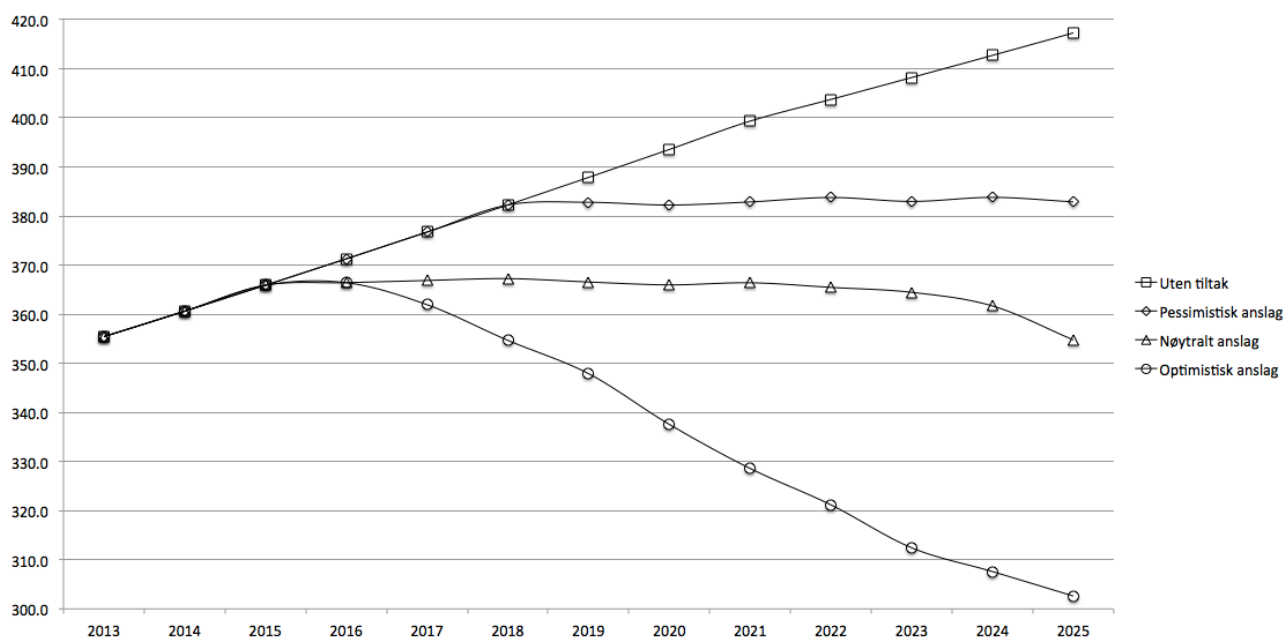
Tabell 6.7 Oversikt over totalutslippet til alle tiltak sett i forhold til utslippene i 2013

	Normalanslag (%)	Mulighetsrom (%)	
		Pessimistisk	Optimistisk
Biodrivstoff	-0,2	+7,7	-14,9
Flåteutskifting	+3,9	+8,2	+1,0
Luftromseffektivisering	+15,1	+16,9	+14,4
Flygere	+15,9	+16,5	+14,7
En-motors taxi	+16,7	+17,2	+16,7
Vektreduksjoner	+17,4	+17,4	+17,3
Alle tiltak	-15,0	-2,2	-30,8
Alle tiltak u/biodrivstoff	-0,1	+6,6	-4,5

Biodrivstoff er det eneste tiltaket som i normalanslaget alene har potensiale til å stanse økningen i totalutslipp som kommer av trafikkveksten. Resten av tiltakene har til sammen tilnærmet samme virkning som biodrivstoff alene.

Biodrivstoff er det tiltaket hvor det eksisterer mest usikkerhet, og i det optimistiske scenarior har det alene potensiale til å redusere totalutslippene i 2025 med 15 %. Det optimistiske scenarior er spesielt utfordrende å anslå. Dette scenarior innebærer i denne modelleringen produksjon av biodrivstoff i Norge fra 2020. Potensialet og usikkerheten visualiseres i figur 6.7

Figur 6.7 Totalutslipp og effekten av Biodrivstoff. Pessimistisk, normalt og optimistisk anslag

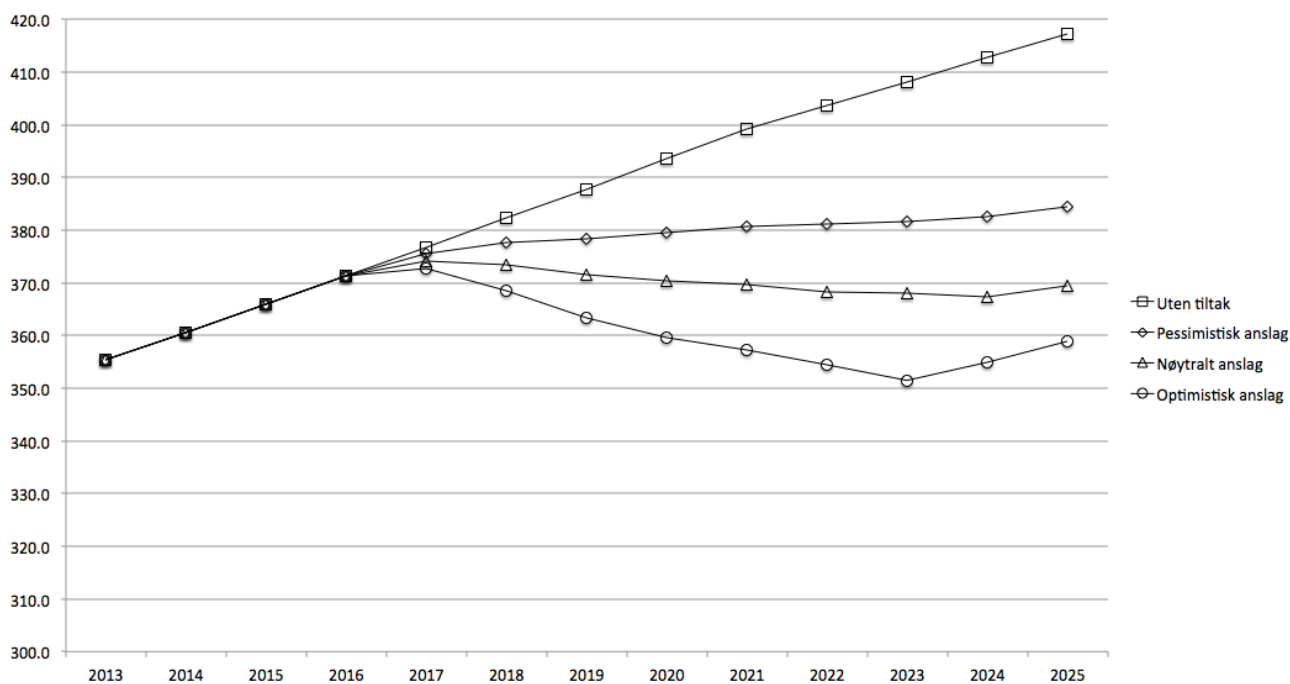


Utslipp i mill. kg/år

Figuren viser i normalanslaget et markert fall fra 2024 til 2025. Dette skyldes antagelsen om at biodrivstoffproduksjon i Norge er mulig fra dette tidspunktet.

Flåteutskiftning er tiltaket det eksisterer minst usikkerhet rundt. I normalanslaget tar dette tiltaket alene utslippsøkningen ned fra 17,4 % til 3,9 %. I det optimistiske anslaget kan tiltaket nesten stoppe utslippsøkningen (+1 %). Potensialet og usikkerheten visualiseres i figur 6.8. Skalaene i figur 6.7 og 6.8 er beholdt like for bedre sammenlikning av usikkerhetene og virkningene av tiltakene.

Figur 6.8 Totalutslipp og effekten av Flåteutskiftning. Pessimistisk, normalt og optimistisk anslag

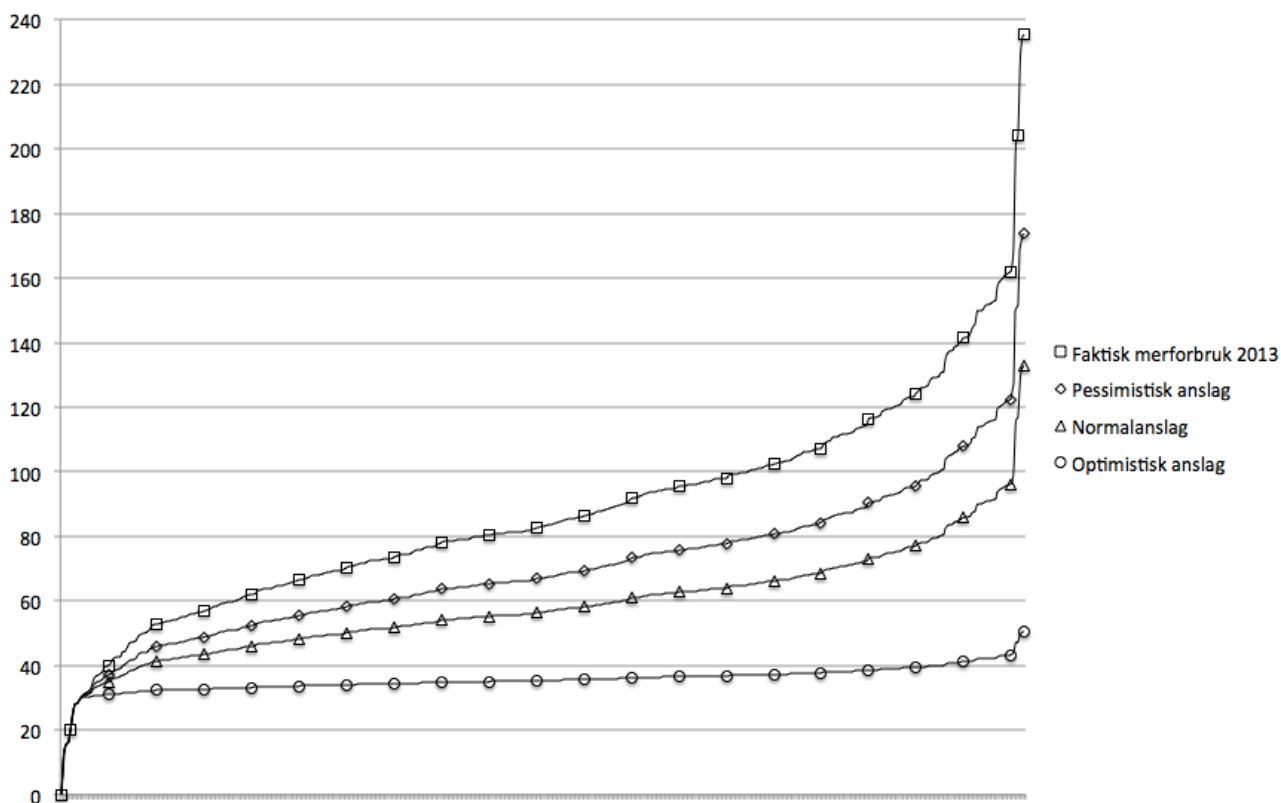


Utslipp i mill. kg/år

Figuren viser en økning i totalutslipp mot slutten av tidsperioden. Dette skyldes at nesten hele flåten til Norwegian er byttet ut med B737 MAX og tilnærmet hele potensialet til dette tiltaket er realisert.

Optimalisering av flygerenes teknikker er et, relativt sett, mindre tiltak, men kan være et av tiltakene som er minst ressurskrevende å innføre. Figur 6.9 under viser hvordan modelleringen av anslagene slår ut på merforbruket til hver enkelt flyger. Anslagene antar som nevnt at de flygerene som har et merforbruk på mindre enn 30 kg pr. flygning ikke kan forbedres og at 30 kg er nedre grense for mulig forbedring.

Figur 6.9 Flygerenes merforbruk, optimistisk, pessimistisk og normalanslag for tiltaket



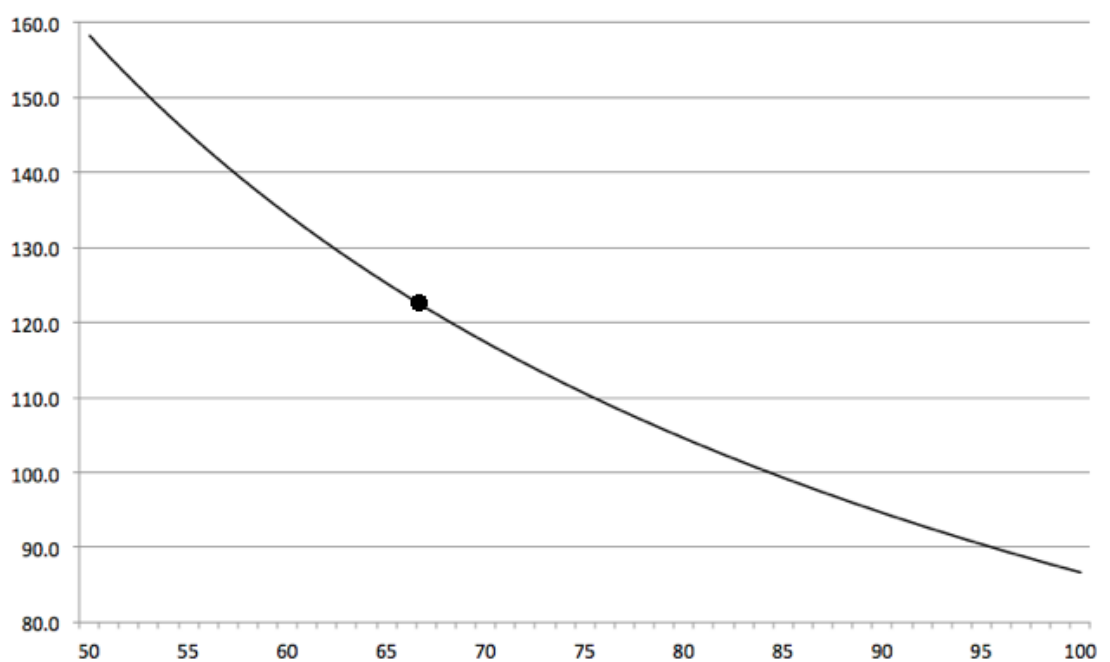
Merforbruk i kg per flygning langs y-akse, flygere listet kumulativt langs x-aksen.

Kabinfaktorens påvirkning på enhets- og totalutslipp

Tiltakene over er beregnet med den setekapasitet og kabinfaktor som Norwegian hadde i 2013. En endring av kabinfaktoren har store effekter på både enhets- og totalutslippene.

Figur 6.10 viser hvilken effekt kabinfaktoren ville hatt på enhetsutslippene til Norwegians innenrikstrafikk i 2013. Totalutslippene følger en identisk kurve.

Figur 6.10 Kabinfaktorens innvirkning på enhetsutslipp

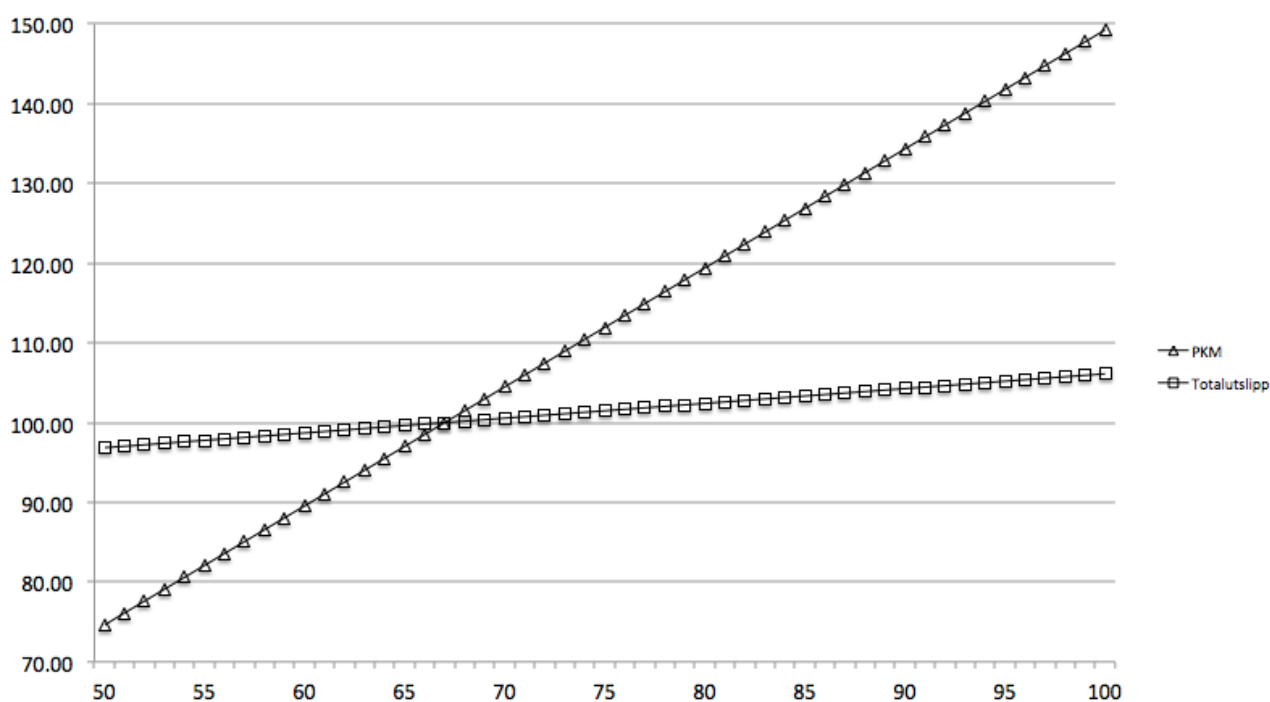


Kabinfaktor i prosent langs x-akse og enhetsutslipp i g CO₂e/storsirkel PKM langs y-akse

Norwegians kabinfaktor for 2013 er markert.

I figur 6.11 under vises kabinfaktorens effekt på totalutslippet og passasjerkilometrene på en gjennomsnittstur i 2013. Figuren er indeksert for å gi et bilde av hvor mye raskere passasjerkilometerene vokser enn totalutslippene. Indeks 100 er satt til en kabinfaktor på 66,7 % som var kabinfaktoren til Norwegian i 2013 innenriks i Norge.

Figur 6.11 Kabinfaktorens innvirkning på totalutslipp og PKM på en gjennomsnittstur



Indeks 100 = 66,7 % kabinfaktor

Kabinfaktor i % langs x-akse

Marginalutslippet ved å ta med seg én ekstra passasjer utgjør 0,1 % av totalutslippene på en gjennomsnittstreise. Antall passasjerkilometer derimot, øker med 0,85 % dersom én ekstra passasjer tas med på gjennomsnittsturen. Passasjerkilometerene øker med andre ord 8,5 ganger raskere enn utslippene. Marginalenhetsutslippene i CO₂e for én ekstra passasjer på en gjennomsnittstur er 15 g CO₂e/PKM.

Dersom en ser på kabinfaktorens mulighet til å stanse utslippøkningen mot 2025 så trenger Norwegian en økning fra dagens 66,7 % til 76 % i 2025 for å holde totalutslippene på 2013-nivå uten andre tiltak. Dersom kabinfaktoren synker til 53,8 % vil dette utligne hele den positive effekten av alle tiltak uten biodrivstoff. Overgangen fra B737-300 til B737-800 gjør at kabinfaktoren til Norwegian kan synke fra 66,7 % til 63,0% og likevel holde enhetsutslippene stabile.

Litteraturliste

- Air Transport Action Group (2012): Revolutionising Air Traffic Management. [Internett] Tilgjengelig fra: <<http://www.atag.org/our-publications/latest/1/41-revolutionising-air-traffic-management.html>> [lest: 10.01.2015].
- Avinor, SAS, Norwegian, NHO Luftfart og Widerøe (2011): Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart. Rapport 2.
- Avinor (2014): Pressemelding 18.11.2014: Første hub i verden med faste biodrivstoffleveranser [Internett] Tilgjengelig fra: <<http://media.avinor.no/presstreleases/foerst-i-verden-med-faste-biodrivstoffleveranser-1085924>> [lest: 20.12.2014].
- Boeing (2015): Boeing 737 MAX. [Internett] Tilgjengelig fra: <<http://www.boeing.com/commercial/737max/>> [lest: 01.02.2015].
- Boeing (2014): Environment report 2014. [Internett] Tilgjengelig fra: <http://www.boeing.com/aboutus/environment/environment_report_14/2014_environment_report.pdf> [lest: 12.03.2015].
- Börjesson, P., Ahlgren, S., Barta, Z., Björnsson, L., Ekman, A., Erlandsson, P., Hansson, P., Karlsson, H., Kreuger, E., Lindstedt, J., Sandgren, M., Schnürer, A., Trobro, S., Villman, S., Wallberg, O. (2013): Sustainable performance of lignocellulose-based ethanol and biogas co-produced in innovative biorefinery systems.
- Denstadli, J. M., Thune-Larsen H., Dybedal P. (2014): Reisevaner på fly 2013 TØI rapport 1335/201.
- Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Eisentraut, A. (2010): International Energy Agency: Sustainable Production of Second-Generation Biofuel. Potential and perspectives in major economies and developing countries.
- EU (2009): Direktiv 2009/28/EF (Engelsk: Directive 2009/28/EC).
- Eurocontrol (2011): Single European Sky Fact Sheet. [Internett] Tilgjengelig fra: <<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2011-ses-factsheet.pdf>> [lest: 12.03.2015].
- European Commission (2015): The EU Emissions Trading System (EU ETS). [Internett] Tilgjengelig fra: <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm> [lest: 10.05.2015].
- FAA (2007): FAA-H-8083-1a, Aircraft Weight and Balance Handbook.
- Haltbrekken, L. og Schauptitz, H. (2014): Kronikk: Biodrivstoff til fly - klimaets redning? [Internett] 12. august 2014. Tilgjengelig fra: <<http://www.vg.no/nyheter/meninger/kronikk-biodrivstoff-til-fly-klimaets-redning/a/23272488/>> [lest 01.10.14].

- Haywood, J.M., Allan, R.P., Bornemann, J., Forster, P.M., Francis, P.N., Milton, S., Rädcl, G., Rap, A., Shine, K.P., Thorpe, R. (2009): A case study of the radiative forcing of persistent contrails evolving into contrail-induced cirrus.
- Holloway, S. (2008): Straight and Level. Practical Airline Economics. 3rd ed. Surrey: Ashgate.
- IATA (2010) IATA: Airline fuel and labour cost share [Internett] Tilgjengelig fra: <http://www.iata.org/publications/economics/Documents/Airline_Labour_Cost_Share_Feb2010.pdf> [lest: 10.04.2014].
- ICAO (2007): Outlook for Air Transport to the Year 2025. [Internett] Tilgjengelig fra: <http://www.filtcgilfoggia.it/notiziari_filt/2008/19/All19UI3.pdf> [lest: 08.02.2015].
- Indexmundi.com (2014): Jet Fuel Monthly Price database [Internett] Tilgjengelig fra: <<http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=jet-fuel&months=180>> [lest: 10.04.2014].
- Jenssen, T.K., Tore.Kristian.Jenssen@norwegian.com (2015): Informasjon om MAX (drivstofforbruk og leveranser). [e-post] Til Valen, T. (Torstein.Valen@norwegian.com) [datert 16.02.2015].
- Lee, D.S., Fahey, D.W., Forster, P.M., Newton, P.J., Wit, R.C.N., Lim, L.L., Owen, B., Sausen, R. (2009): Aviation and global climate change in the 21st century.
- Lian, J.I., Eriksen, K.S., Lauridsen, H., Rideng, A. (2002): Norsk innenlandsk luftfart - konkurranse og monopol.
- Lian, J.I., (2007): Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart, TØI Rapport 921/2007.
- Madslie, A., Steinsland, C., Kwong, C.K. (2014): Grunnprognoser for persontransport 2014 – 2050.
- Norwegian (2015): Norwegians Årsrapporter 2009 - 2014. [Internett] Tilgjengelig fra: <<http://www.norwegian.no/om-norwegian/investor-relations/reports--presentations/annual-reports/>> [lest: 15.04.2015].
- Norwegian (2012): Pressemelding 25.01.2012: Historiens største flyordre i Europa: Norwegian kjøper 222 nye fly. [Internett] Tilgjengelig fra: <<http://media.norwegian.com/#/pressreleases/historiens-stoerste-flyordre-i-europa-norwegian-kjoeper-222-nye-fly-726503>> [lest: 15.04.2015].
- Oslo Lufthavn (2014): Environmental report 2013.
- Peeters P.M., Middel J., Hoolhorst A. (2005): Fuel efficiency of commercial aircraft - An overview of historical and future trends.
- Penner, J.E., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J., McFarland, M. (1999): IPCC Special Report, Aviation and the Global Atmosphere.
- Planespotters.net (2015): Norwegian Air Shuttle Fleet Details and History [Internett] Tilgjengelig fra: <<http://www.planespotters.net/Airline/Norwegian-Air-Shuttle>> [lest: 30.04.2015].
- Rambøll (2013): Bærekraftig biodrivstoff for luftfart.
- Rideng, A. (2005): Transportytelser i Norge 1946 - 2004, TØI rapport 809/2005.
- Sainz, M.B. (2007): Commercial cellulosic ethanol: The role of plant-expressed enzymes.

- Schlaupitz, H. (2008): Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer - Effekter ved bygging av høyhastighetsbaner i Norge.
- Simonsen, M. (2010a): Passasjertransport med fly.
- Simonsen, M. (2010b): Transport, energi og miljø - Sluttrapport.
- Skullerud, H.F., Hakon.Skullerud@ssb.no, (2015): Angående tall i "Utslipp av klimagasser, 1990-2013, endelige tall". [e-post] Til Myhre, G.F. (georg.myhre@gmail.com) [datert 12.05.15].
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (2007): IPCC 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- SSB (2014): Statistikkbanken, Konsumprisindeksen [Internett] Tilgjengelig fra: <<https://www.ssb.no/statistikkbanken>> [lest: 10.04.2014].
- SSB (2015a): Statistikkbanken, Seter tilgjengelig og passasjerer transportert [Internett] Tilgjengelig fra: <<https://www.ssb.no/statistikkbanken>> [lest: 10.04.2015].
- SSB (2015b): Statistikkbanken, Priser på flyreiser [Internett] Tilgjengelig fra: <<https://www.ssb.no/statistikkbanken>> [lest: 10.05.2015].
- SSB (2015c): Statistikkbanken, Utslipp av klimagasser, 1990-2013, endelige tall [Internett] Tilgjengelig fra: <<https://www.ssb.no/statistikkbanken>> [lest: 04.05.2015].
- Toutain, J., Taarneby, G., Selvik, E. (2008) Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport.
- Turner, K. (2014): Programmeringskode [Internett] Tilgjengelig fra: <https://gist.github.com/kenners/8abe1d2f62400f87958d> [lest 20.10.14].
- US Department of Transportation (2015): Multimodal Transportation Indicators April 2015 Tilgjengelig fra: <http://www.rita.dot.gov/bts/sites/rita.dot.gov.bts/files/mti04_2015.pdf> [lest: 20.03.2015].
- Wikipedia (2015): [Internett] Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/Norwegian_Air_Shuttles_flyflåte> [lest 01.10.14].
- Wooldridge, J. M. 2006: Introductory Econometrics: A Modern Approach, 4th ed. Mason, OH: South-Western Cengage Learning

Appendiks A - Datainnsamling fra Flightradar24.com

Flightradar24 [www.flightradar24.com] er en nettside som viser lufttrafikk i store deler av verden, inkludert Norge. Nettsiden lagrer også data for alle flygninger med tilbakelagt rute, høyde og hastighet, og de er søkbare på flyselskap, rutenummer og dato inntil 4 måneder tilbake i tid. Dette er en fritt tilgjengelig nettside som drives av flyentusiaster. Den finansieres av reklameinntekter og salg av premiummedlemskap som gir tilgang til noen eksklusive funksjoner.

ADS-B-teknologi

Flightradar24 bruker “automatic dependent surveillance – broadcast” (ADS-B) teknologi for å samle data om flygninger. Innsamling av posisjons-, høyde- og fartsdata via ADS-B krever en nyere type Mode-S transponder med ADS-B i flyet og en ADS-B mottaker på bakken. Alle Norwegians fly har nyere type Mode-S transpondere med ADS-B. De nyere type Mode-S transponderene med ADS-B sender ut posisjons-, høyde- og fartsdata fra flyets interne navigasjonssystem. B737-800 bruker GPS-posisjon, mens 737-300 bruker flyets “inertial navigation system” (INS) til å rapportere posisjon.

Flightradar24 har over 4000 ADS-B mottakere på verdensbasis som er koblet til deres server. Disse er i hovedsak driftet av entusiaster som mottar kompensasjon i form av tilgang til Flightradar24s premiumfunksjoner. En mottaker har normalt en rekkevidde på opp til 400km avhengig av mottakerens plassering og flyets høyde. Flightradar24.com hevder på sine nettsider å ha 99% dekning i Europa.

Import av data og måling av distanse i Google Earth

Radarsporene fra Flightradar24 genereres og vises i et innebygd Google Maps vindu på deres nettsider. Disse dataene genereres med Keyhole Markup Language (KML), en datalagringsstandard for å beskrive to og tredimensjonal posisjonsdata. Disse dataene som vises er blitt konvertert tilbake til KML-filformat med en programmeringskode skrevet av Turner K. (2014), lagret lokalt og importert til en lokal Google Earth klient. Disse

radarsporene inneholder høyde og posisjonsdata ca hvert 5. sekund som muliggjør avstandsmåling av sporene i Google Earth. I noen områder er det ikke dekning ned til bakken og første eller siste del av flygningen er estimert basert på første eller siste kjente retning, høyde og derav forventet spor. Disse estimatene er lagret som egne spor. Dette gjelder MOL, ANX, LKL, LYR og BDU og kun de 0-15 første eller 0-25 siste km. Grunnen til forskjellen er at flyet kommer raskere innenfor dekning på utklatring da det stiger relativt sett brattere enn det synker på innflygningen.

Appendiks B - Trimming av datasettet Norwegians innenriksflygninger Norge 2013

Datasettet ble oversendt forfatterene pr. epost av Ole Christian Melhus (Deputy Director Flight Operations, Norwegian) som en Microsoft Excel fil og inneholder 47554 datalinjer. Hver datalinje inneholder 45 variabler. Én datalinje representerer én flygning og datasettet er utfyllende, dvs det inneholder alle flygninger gjort av Norwegian innenlands i 2013.

Trimmingen av datasettet er gjort på følgende måte:

1. Blanke celler. Følgende variabler ble sjekket for blanke celler.
 - a. Totaltid. Blanke celler på denne variabelen indikerer at flygerene har glemt å sende inn siste siden i rapporteringssystemet. I dette tilfellet vil det i tillegg til totaltid også være blanke celler i flytid, forbrukt drivstoff og gjenværende drivstoff. Datalinjen vil derfor være ubrukelig for vårt formål til annet enn å verifisere at en flygning har funnet sted mellom et bypar på en spesiell dato. 665 linjer ble identifisert og fjernet noe som tilsvarer 1,4% av det totale settet.
 - b. Passasjerer. Når denne variabelen mangler indikerer dette at den delen av rapporteringssystemet som kalles vekt og balanse ikke er sendt inn. Det vil da også være en rekke andre variabler som mangler, som f.eks avgangsvekt, balanse og nyttelast. Dette vil redusere de mulighetene man har til å analysere drivstofforbruket på de aktuelle flygningene så mye at det er valgt å fjerne disse linjene. Det er identifisert og fjernet 620 slike linjer (1,3%).
 - c. Medtatt drivstoff. De fleste linjer som manglet denne variabelen ble fjernet under punkt 1a. Ytterligere 1 linje som ble fjernet under dette punktet.
2. Nullverdier.
 - a. Totaltid og flytid. En nullverdi i disse feltene indikerer sannsynligvis en brukerfeil der det har blitt skrevet inn samme avgangstidspunkt som ankomsttidspunkt. En annen mulighet er at flyet har forlatt gaten men av en eller annen grunn kommet tilbake uten å ha vært i luften. Dette kan skje ved tekniske feil på flyet eller ved vær-situasjoner hvor flyplassen stenger. Siden en flygning ikke kan ha

null minutter flytid invaliderer dette datalinjen. Totalt 20 linjer (0,04%) ble fjernet.

3. Urealistiske verdier. Under dette punktet ble flere enkeltstående eller sammensatte variabler sjekket. Kriteriene er valgt med forsiktighet for ikke å fjerne “outliers” som faktisk har funnet sted.
 - a. Storsirkeldistanse (NM) / Flytid (timer) > 600. Denne formelen gir en gjennomsnittlig hastighet for flygningen gitt at den kun flyr storsirkeldistanse. Alle flygninger flyr i praksis lengre enn storsirkel og i virkeligheten måtte derfor hastigheten vært enda høyere. Hensikten med dette punktet var å fjerne feiltastinger i variabelen flytid (altfor lav total flytid). Det ble valgt å ikke sette en nedre grense da det kunne, teoretisk, ha funnet sted en flygning med kort opprinnelig storsirkeldistanse som har måttet vente i lang tid i ventemønster før landing. 113 datalinjer ble fjernet under dette punktet (0,24%).
 - b. Forbrukt drivstoff > 21.000 kg. Maksimum kapasitet på drivstofftankene til en B737-800 er rett under 21 tonn (avhengig av temperaturen på drivstoffet) og det er derfor umulig å bruke mer drivstoff enn dette. Ingen flygninger ble funnet.
 - c. Passasjerantall > 193 (B737-800) eller >151 (B737-300). Dette overskrider totalkapasiteten til flyet om alle seter (inklusive klappseter) var besatt. Her er 5 linjer fjernet, alle var utført av en B737-300.
 - d. Forbrukt drivstoff > Medtatt drivstoff. Dette innebærer at flygningen har brukt mer drivstoff enn det som fantes ombord før flygningen startet. 2 flygninger ble fjernet.
 - e. Flytid \geq Totaltid. Her ble det funnet 7 flygninger hvor disse to variablene var identiske. Siden dette medfører en total taxetid på 0 minutter er det ikke mulig og disse flygningene er sortert ut.
 - f. Drivstofforbruk er mindre enn 1600 kg/time eller mer enn 5000 kg/time flytid. Det er korrigert for taxetid. Denne justeringen er satt til 10 kg/minutt, med en maksverdi på 300 kg. Grenseverdiene ble bestemt ved hjelp av en analyse av Boeings manualer for flyet og faktiske operasjonelle flygeplaner. Hensikten med dette punktet er å fjerne urealistiske verdier for forbrukt drivstoff. Grenseverdiene er satt meget bredt for å forsikre at gyldige “outliers” ikke fjernes. 169 flygninger (0,36%) var under den nedre grensen . 67 flygninger

(0,14%) var over den øvre grensen . Totalt 236 linjer er sortert ut. (0,50%).

g. Balanse utenfor grenseverdiene. Ingen flygninger ble funnet.

4. Differanse mellom medtatt drivstoff minus forbrukt drivstoff og gjenværende drivstoff på mer enn 300 kg. Dersom alle måleinstrumenter involvert i måling av drivstoff er uten feil og brukerfeil elimineres er denne differansen lik null. Av årsaker nevnt over vil man i praksis under faktiske operasjoner ha en viss differanse. Grenseverdien på 300 kg har vi kommet frem til gjennom inngående kjennskap til de faktiske operasjonene som utføres. Blant annet brukes denne grenseverdien under daglige operasjoner i den forstand at større differanser må undersøkes nøye før en evt. flygning kan finne sted. Dataene viser en korrelasjon mellom hvor mye drivstoff som lastes opp og store differanser. Gjennomsnittlig storsirkeldistanse på hele datasettet er 512 km, mens gjennomsnittet av flygninger som ble fjernet under dette punktet var 701 km. En annen korrelasjon som ble funnet var en overrepresentasjon av B737-300 blant flygninger med stor differanse. I det originale datasettet var 27,9% av flygningene gjort av B737-300, mens i flygningene som hadde en differanse på mer enn 300 kg var det 49,5% B737-300. Dette har sin naturlige forklaring i at disse flyene er betydelig eldre og har mer unøyaktige drivstoffmålere. Analyser av gjennomsnittlig drivstoffbruk pr. passasjerkilometer viser små forskjeller mellom hele datasettet og flygninger med stor differanse. I det originale datasettet før denne kvalitetssikringen finner vi forbrukt drivstoff/PKM på 0,038228 mens på flygningene med stor differanse var tallet 0,037364. Dette er en forskjell på 2,3% og kan forklares med lengre gjennomsnittlig flylengde på denne gruppen. Konklusjonen er at å fjerne flygninger med stor differanse hever kvaliteten på datasettet uten å endre resultatene. Totalt 1087 flygninger (2,29%) ble sortert ut under dette punktet.
5. Ikke-eksisterende ruter. Det kan være flere grunner til at flygninger som ikke eksisterer i Norwegians normale rutenett dukker opp i datasettet. En grunn er at flygningen ikke har funnet sted (brukerfeil). En annen er at en flygning ikke har kunnet lande på sin originale destinasjon og har måttet gå til en annen flyplass. Denne flygningen eller den påfølgende posisjoneringen av flyet vil kunne være en rute som normalt ikke flys. 54 flygninger (0,11%) ble fjernet.
6. To like rutenummer samme dag mellom identiske bypar. Dette kan skyldes dobbeltføringer eller at flygingen har landet på en annen destinasjon enn det som var

planlagt (diversion). 5 tilfeller ble funnet og i hvert enkelt tilfelle ble den dobbeltføringen som var feilført fjernet. Alle tilfellene skyldtes tilsynelatende brukerfeil.

7. Tekniske flygninger. Dette er flygninger som har en annen hensikt enn å transportere passasjerer. Det kan være testflygninger etter omfattende vedlikehold eller posisjoneringsflygninger. Inkludert er også flygninger fra utlandet som lander på en annen destinasjon enn planlagt i Norge. Den påfølgende flygningen innenlands i Norge vil komme under denne kategorien. 299 flygninger (0,63%) ble fjernet.
8. Rutespesifikke analyser av flightnummer. Etter at de overstående analysene var gjort ble datasettet gjennomgått for hver enkelt rute som eksisterer i Norwegians rutenett. Totalt 64 unike ruter ble identifisert og alle ble sjekket opp mot flightnummer. Feil flightnummer indikerer normalt sett en diversion eller første flygning etter en diversion. Totalt ble 48 flygninger (0,10%) fjernet under dette punktet.

Appendiks C - Datasettets variabler

Dato: Datoen flygningen ble utført

Rutenummer: Flygningens kommersielle rutenummer

Rute: Strekningen som er betjent. Datasettet inneholder 32 bypar og det velges å skille tur og retur. Antall ruter er derfor 64.

Flytid: Antall minutter fra avgang til landing

Taxetid: Antall minutter fra man slipper parkeringsbremsen på gate på utreiseflyplass til man setter parkeringsbremsen på destinasjonen fratrukket flytid.

Avising: Angir hvorvidt flyet har stoppet for avising før avgang.

Forsinkelse(min): Antall minutter etter oppsatt rutetid man slipper parkeringsbremsen på utreiseflyplass.

Passasjerantall: Antall passasjerer 2 år eller eldre.

Nyttelast: Totalt last for passasjerer, bagasje, gods og post målt i kg. Dette tallet baseres på en snittvekt for passasjerer estimert til 84kg inklusiv håndbagasje, en snittvekt for innsjekket bagasje på 11kg og faktisk vekt på gods og post.

Gods og post: Antall kg gods og post på den aktuelle flygningen.

Balanse: Flyets balansepunkt oppgitt i % av flyets totale vingekorde forteller hvordan flyets last er fordelt i flyets lengderetning.

Medtatt drivstoff: Måles i kg. Inkluderer flyets totale mengde drivstoff når det forlater gate

Forbrukt drivstoff: Måles i kg og inkluderer total mengde drivstoff forbrukt fra flyet forlater gate på avreiseflyplass til motorene stanses på destinasjonen.

Flytype: Boeing 737 opereres på alle flygninger, og her skilles det mellom den eldre varianten -300 og den nyere varianten -800.

Flyets registrering: Denne består av fem bokstaver og er unikt for hvert enkelt flyindivid.

Kapteins id: Kapteinens ansattnummer anonymisert

Styrmanns id: Styrmannens ansattnummer anonymisert

Førende flygers id: Inneholder styrmannens eller kapteinens anonyme id og identifiserer hvem som fører flyet på den aktuelle flygningen.

Etablerte variabler:

Seter: Antall tilgjengelige seter. For B737-300 er det kun én konfigurasjon med 148 seter. B737-800 har to konfigurasjoner med 186 og 189 seter. Gjennomsnittlig antall seter er kalkulert til 186,5. Dette er gjennomsnittlig antall seter for hele B737-800-flåten i 2013.

Kabinfaktor: Passasjerer/Seter x 100. Målt i prosent.

PKM Storsirkel: Passasjerantall x Storsirkeldistanse

PKM Faktisk distanse: Passasjerantall x Faktisk distanse

ASK Storsirkel: Seter x Storsirkeldistanse

ASK Faktisk distanse: Seter x Faktisk distanse

Korrigert taxetid : Denne verdien skal reflektere tid med motorer i gang på bakken. høye verdier i taxetid er som regel assosiert med “push and hold”. Dermed kan taxetid bli uforholdsmessig høy i forhold til tid med motorene i gang. På avganger uten avising er derfor taxetid korrigert til median for alle flygninger uten avising (12 minutter) dersom taxetiden er over 30 minutter. På avganger med avising er verdien korrigert til median for alle flygninger med avising (22 minutter) dersom taxetiden er over 60 minutter. Minste taxetid er korrigert til minste teoretiske tid det er mulig å bruke med motorer i gang før og etter en avgang. Denne er satt til 6 minutter. Disse verdiene er satt skjønnsmessig.

Medbrakt vekt: Nyttelast + medtatt drivstoff

Forsinkelse: En dikotom variabel som indikerer om flygingen er forsinket. Grenseverdien på 15 er brukt da dette er bransjestandard for å definere en flygning som forsinket.

Appendiks D₁ - Utslippsreduserende tiltak, Biodrivstoff

Følgende antagelser er gjort om blandingsforhold av biodrivstoff og biodrivstoffets CO₂e-reduksjon sammenlignet med det fossile drivstoffet det erstatter.

År	Pessimistisk				Normal				Optimistisk			
	OSL		BGO/TRD/SVG		OSL		BGO/TRD/SVG		OSL		BGO/TRD/SVG	
	Innblanding (%)	CO ₂ e reduk. (%)	Innblanding (%)	CO ₂ e reduk. (%)	Innblanding (%)	CO ₂ e reduk. (%)	Innblanding (%)	CO ₂ e reduk. (%)	Innblanding (%)	CO ₂ e reduk. (%)	Innblanding (%)	CO ₂ e reduk. (%)
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	0	5	60	0	0	5	60	0	0
2017	0	0	0	0	10	60	0	0	15	60	0	0
2018	0	0	0	0	15	60	0	0	17,5	60	17,5	60
2019	5	60	0	0	21	60	0	0	25	60	25	60
2020	11	60	0	0	17	60	17	60	30	80	25	60
2021	10	60	10	60	20	60	20	60	40	80	25	60
2022	12	60	12	60	23	60	23	60	50	80	20	60
2023	15	60	15	60	26	60	26	60	50	80	30	80
2024	17	60	17	60	30	60	30	60	50	80	40	80
2025	20	60	20	60	30	80	30	60	50	80	50	80

Appendiks D₂ - Utslippsreducerende tiltak, Flåteutskiftning

Tabellen under viser anslagene for leveranser av B737-800 (B738), tilbakeleveringer av B738 og leveranser av B737 MAX 8 (B73M) (Norwegian, 2015 og Wikipedia, 2015).

År	Pessimistisk			Normal			Optimistisk		
	Leveranser B738	Tilbakelev.B738	Leveranser B73M	Leveranser B738	Tilbakelev.B738	Leveranser B73M	Leveranser B738	Tilbakelev.B738	Leveranser B73M
2013	14	0	0	14	0	0	14	0	0
2014	11	0	0	11	0	0	11	0	0
2015	9	2	0	9	2	0	9	2	0
2016	13	5	0	15	7	0	17	9	0
2017	13	10	3	15	13	6	17	16	8
2018	10	10	10	6	13	15	2	16	20
2019	0	10	15	0	13	20	0	16	25
2020	0	10	15	0	13	20	0	16	25
2021	0	10	15	0	13	20	0	16	22
2022	0	10	15	0	13	19	0	16	15
2023	0	10	15	0	13	10	0	16	15
2024	0	10	12	0	13	10	0	1	15
2025	0	10	0	0	5	10	0	0	15

Appendiks D₃ - Utslippsreducerende tiltak, Luftromseffektivisering

Tabellen under angir den prosentandel av flyvingene som følger optimal trasé til de respektive flyplassene.

År	Pessimistisk			Normal			Optimistisk		
	OSL	BGO/TRD/SVG	Andre	OSL	BGO/TRD/SVG	Andre	OSL	BGO/TRD/SVG	Andre
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	3	0	0
2015	0	0	0	5	0	0	10	0	0
2016	0	0	0	10	0	0	30	0	0
2017	5	0	0	20	0	0	30	30	0
2018	5	0	0	30	0	0	50	50	0
2019	10	0	0	30	10	0	70	70	0
2020	15	0	0	30	20	0	70	70	30
2021	20	0	0	30	30	0	70	70	70
2022	20	5	0	50	50	0	90	90	90
2023	20	10	0	70	70	0	90	90	90
2024	20	15	0	70	70	30	90	90	90
2025	20	20	0	70	70	70	90	90	90

Appendiks D₄ - Utslippsreducerende tiltak, Flygere

Tabellen under viser anslagene på hvor mye (i prosent) av merforbruk over nedre grenseverdi som kan spares inn.

År	Pessimistisk	Normal	Optimistisk
2013	0	0	0
2014	0	0	0
2015	0	0	0
2016	3	5	5
2017	6	10	10
2018	9	15	20
2019	12	20	30
2020	15	25	40
2021	18	30	50
2022	21	35	60
2023	24	40	70
2024	27	45	80
2025	30	50	90

Appendiks D₅ - Utslippsreducerende tiltak, En-motors taxi

Prosent av mulige minutter spart						
År	Pessimistisk		Normal		Optimistisk	
	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter	Sommer	Vinter
2013	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	30	0	40	10
2017	0	0	50	0	50	30
2018	30	0	70	30	70	50
2019	40	0	80	40	90	70
2020	50	0	90	50	90	70
2021	60	0	90	60	90	70
2022	70	0	90	70	90	70
2023	80	0	90	70	90	70
2024	90	0	90	70	90	70
2025	90	0	90	70	90	70

Appendiks D₆ - Utslippsreducerende tiltak, Vektbesparelser

År	OSL						BGO/TRD/SVG						Andre flyplasser					
	Pessimistisk		Normal		Optimistisk		Pessimistisk		Normal		Optimistisk		Pessimistisk		Normal		Optimistisk	
	Vekt	%	Vekt	%	Vekt	%	Vekt	%	Vekt	%	Vekt	%	Vekt	%	Vekt	%	Vekt	%
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	0	0	50	30	100	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	50	50	100	50	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
2017	50	30	100	50	150	50	0	0	50	30	100	50	0	0	0	0	100	20
2018	50	30	150	50	150	70	0	0	50	50	150	50	0	0	0	0	100	50
2019	50	50	150	70	200	60	50	30	100	50	150	70	0	0	50	30	150	50
2020	50	50	150	80	200	70	50	30	150	50	200	60	0	0	50	50	150	70
2021	100	50	150	80	250	60	50	50	150	70	200	70	0	0	100	50	200	60
2022	100	50	150	80	250	70	50	50	150	80	250	60	50	30	150	50	200	70
2023	150	50	150	80	250	80	100	50	150	80	250	70	50	30	150	70	250	60
2024	150	50	150	80	250	80	100	50	150	80	250	80	50	50	150	80	250	70
2025	150	70	150	80	250	80	150	50	150	80	250	80	50	50	150	80	250	80

Vekt: vektbesparelser i kg.

%: hvor mange prosent av flåten som gjennomfører denne besparelsen.