

## e-SAF eller CO<sub>2</sub>-lagring?

### Analyse av ressursbehov

Av: Mats Rongved og Eivind Berstad

Godkjent av: Christian Eriksen



Mats Rongved, Seniorrådgiver CCS



Eivind Berstad, Teamleder CCS

### **Kort om Bellona**

Miljøstiftelsen Bellona er en uavhengig ideell stiftelse med mål om å løse klima- og miljøproblemene. Siden 1986 har Bellona vært engasjert i de viktigste miljøspørsmålene nasjonalt og internasjonalt, og er anerkjent for sin teknologiforståelse og løsningsorienterte tilnærming. I dag jobber ca. 60 ingeniører, biologer, økonomer, jurister, statsvitere og journalister på våre kontorer i Oslo, Brussel, Berlin og Vilnius, og vi har representanter i flere EU-land og i USA. Våre nettsider er på [norsk](#), [engelsk](#), [tysk](#) og [russisk](#).

### **Ansvarsbegrensninger:**

Miljøstiftelsen Bellona bestreber seg på å sikre at informasjonen i denne rapporten er korrekt, og at innholdet ikke strider mot tredjeparts opphavsrett. Vi kan imidlertid ikke garantere at så er tilfelle, og vi påtar oss intet ansvar for feil, uklarheter eller mangler ved informasjonen den inneholder. Videre påtar vi oss ikke juridisk eller økonomisk ansvar for konsekvensene av feil, mangler, unøyaktigheter eller uklarheter som følger av andres bruk eller fortolkning av innholdet i denne rapporten.

**Illustrasjoner:** Bellona

**Ansvarlig utgiver:** Bellona

**ISBN-nummer:** ISBN 978-3-16-148410-1

## Sammendrag

Syntetisk drivstoff (e-SAF) har blitt ansett som et tiltak for å redusere utslipp av klimagasser, særlig CO<sub>2</sub>, fra norsk luftfart. Det planlegges både innblandingskrav og produksjon av e-SAF i Norge. Bellona har lenge advart mot e-SAF, fordi det krever enorme mengder energi og har svært lav klimanytte.

Denne studien tar utgangspunkt i fangst av CO<sub>2</sub> med biogen opprinnelse. CO<sub>2</sub> kan deretter brukes til produksjon av e-SAF eller lagres permanent. Alternativene har omtrent samme klimanytte, **men produksjon av e-SAF krever 43 ganger mer elektrisk energi og koster 5 ganger mer enn permanent lagring.**

CO<sub>2</sub> av biologisk opprinnelse bør derfor transporteres og lagres permanent fremfor å inngå i produksjon av e-SAF for norsk luftfart.

## Introduksjon og norsk luftfarts klimapåvirkning

Luftfart står for om lag 2,5 prosent av globale utslipp, og er ansett som en svært vanskelig, dyr og ressurskrevende sektor å avkarbonisere, særlig på kort og mellomlang sikt. På norske lufthavner selges det om lag 1,1 milliarder liter flydrivstoff til innenriks og utenriks trafikk<sup>1</sup>, noe som gir utslipp i størrelsesorden 2,7 millioner tonn CO<sub>2</sub><sup>2</sup>. Av dette stammer rundt 1,1 millioner tonn CO<sub>2</sub> fra innenriks luftfart, som inngår i Norges klimaregnskap<sup>3</sup>.

I tillegg til utslippene fra drivstoffet har luftfart også andre klimapåvirkninger som følge av at forbrenningen skjer i høyden. Dette inkluderer blant annet kondensstriper, samt utslipp av nitrogenoksider, sot og svovelpartikler, som samlet bidrar til en høyere klimaeffekt enn CO<sub>2</sub> alene. Nyere studier peker på en klimaeffekt tilsvarende 1,7-1,9 ganger høyere enn direkte påvirkningen fra CO<sub>2</sub>-utslippet alene, men med betydelige variasjoner knyttet til høyden på flyvningen<sup>4,5</sup>.

En mulig løsning som har fått økende oppmerksomhet er syntetisk flydrivstoff, her omtalt som e-SAF (electro-Sustainable Aviation Fuel). Dette er drivstoff produsert ved hjelp av elektrisitet, der hydrogen kombineres med CO<sub>2</sub> for å danne et flytende drivstoff som kan erstatte fossilt jetdrivstoff. For at dette skal gi klimaeffekt må karbonet være av atmosfærisk opprinnelse, enten gjennom biogene prosesser eller gjennom teknologier som Direct Air Capture (DAC).

Utfordringen er at produksjon av e-SAF krever svært store mengder energi og kapital, samtidig som klimaeffekten er begrenset. I et system med knappe ressurser til klimatiltak er det derfor avgjørende å prioritere tiltak som gir størst mulig utslippsreduksjon per enhet kraft og kapital. En rask oppskalering av e-SAF kan dermed komme på bekostning av mer effektive klimatiltak og annen industriell utvikling, og medføre betydelige kostnader både i form av offentlig pengebruk og økte strømpriser. I tillegg kan det bidra til å dreie politisk og sektorielt fokus bort fra alternative anvendelser av de samme ressursene, som permanent lagring av CO<sub>2</sub> eller elektrifisering av transport.

---

<sup>1</sup> NHO Luftfart (2021): [Program for økt produksjon og innfasing av bærekraftig flydrivstoff](#).

<sup>2</sup> Avinor (2023): [Års- og bærekraftrapport 2023](#).

<sup>3</sup> Norsk klimastiftelse (2024): [Klimagassutslipp fra fly og annen luftfart](#)

<sup>4</sup> Lund, M.T., B. Aamaas, T. K. Berntsen og J.S. Fuglestad (2016): [Luftfart og klima – En oppdatert oversikt over status for forskning på klimaeffekter av utslipp fra fly](#). CICERO rapport 2016:05

<sup>5</sup> Lee, D.S. et al. (2021) [The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018](#), pp. 14.

Samtidig står luftfarten uten gode løsninger for raske utslippskutt innen egen sektor. Store endringer i trafikkgrunnlag fremstår som krevende, og effektivisering av fly, drift og logistikk gir gradvise forbedringer. Elektrifisering har potensial på kortere strekninger, men begrenses av batterienes energitetthet og rekkevidde. Det er derfor få tiltak som kan gi store utslippskutt på kort sikt.

Dette reiser spørsmålet om luftfarten kan bidra til utslippsreduksjoner uten at det går på bekostning av mer effektive klimatiltak andre steder i systemet. Én tilnærming er at ressurser som ellers ville gått til e-SAF, i stedet brukes på tiltak med høyere klimaeffekt, samtidig som luftfarten i en overgangsperiode fortsetter å benytte fossilt drivstoff. Gitt dagens energisystem og den lave effektiviteten i e-SAF fremstår det som sannsynlig at en bred oppskalering først vil være hensiktsmessig på betydelig lengre sikt.

En slik tilnærming innebærer at luftfarten fortsatt må bidra til utslippskutt, men at dette gjøres gjennom tiltak utenfor egen sektor, der ressursene gir større samlet klimaeffekt. Målet er en raskest mulig og mest effektiv vei mot netto null, der prioriteringer gjøres på tvers av sektorer.

En konkret mulighet er å bruke biogent CO<sub>2</sub> til permanent lagring i stedet for produksjon av e-SAF. For en gitt mengde biogent CO<sub>2</sub> vil dette gi en tilsvarende reduksjon i atmosfærisk CO<sub>2</sub> som den mengden fossilt drivstoff e-SAF ellers ville fortrenget. De to alternativene kan dermed gi tilnærmet lik klimaeffekt, men med svært ulikt ressursbehov og ulike systemimplikasjoner.

For å illustrere disse forskjellene analyserer denne rapporten to alternative anvendelser av en gitt mengde biogent CO<sub>2</sub>:

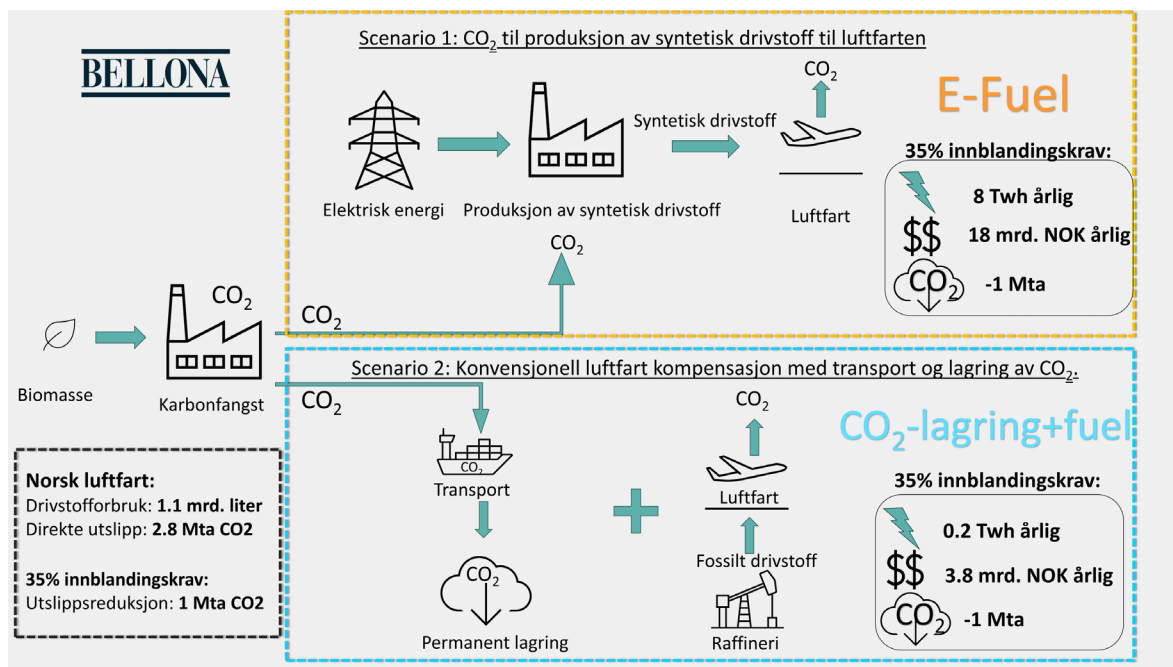
1. Bruk til produksjon av e-SAF som erstatter fossilt drivstoff
2. Permanent lagring som kompensasjon for fortsatt bruk av fossilt drivstoff

Analysen tar ikke stilling til opprinnelsen eller bærekraften til den biogene CO<sub>2</sub> strømmen, men avgrensers seg til å sammenlikne ressursbruk og kostnader gitt en bestemt mengde tilgjengelig CO<sub>2</sub>. Dette er bevisst for å belyse forskjellene i ressursbruk mellom de to scenarioene, men skalering av begge kommer med store utfordringer knyttet til tilgjengelighet av bærekraftig biogen CO<sub>2</sub>. Studiens metode og resultater vil også gjelde for annen atmosfærisk CO<sub>2</sub>, som fra DAC, men denne teknologien kommer med egne utfordringer knyttet til teknologi, energibehov og kostnader.

Samtidig reiser analysen prinsipielle spørsmål knyttet til fortsatt bruk av fossilt drivstoff og risiko for å opprettholde etterspørselen etter fossile energibærere. Hensikten med studien er ikke å legitimere en slik utvikling, men å synliggjøre at en raskest mulig utfasing av fossile energibærere på systemnivå kan innebære at enkelte sektorer må dekarboniseres senere enn andre. Disse sektorene bør likevel omstilles når det er rasjonelt fra et systemperspektiv.

## Analyse av e-SAF og permanent lagring

I denne analysen tar vi utgangspunkt i at CO<sub>2</sub> med biologisk opprinnelse fanges fra en virksomhet. Virksomheten kan enten selge CO<sub>2</sub> til produksjon av e-SAF (scenario 1), eller lagre den permanent (scenario 2).



Figur 1 viser en skjematisk framstilling av de to scenarioene som ligger til grunn for analysen. Scenario 1 bruker CO<sub>2</sub> til produksjon av syntetisk flydrivstoff (e-SAF), mens scenario 2 baserer seg på permanent lagring av CO<sub>2</sub> og fortsatt bruk av fossilt drivstoff. Figuren illustrerer hvordan de to scenarioene kan gi samme klimaeffekt, men med svært ulikt ressursbehov.

**I scenario 1** brukes CO<sub>2</sub> til produksjon av e-SAF. I dette scenarioet vil e-SAF fortrenge en tilsvarende mengde fossilt flydrivstoff og dermed redusere utslipp fra luftfart.

**I scenario 2** går samme mengde CO<sub>2</sub> til permanent lagring. Ettersom CO<sub>2</sub> er av biogen opprinnelse vil det redusere mengden CO<sub>2</sub> i atmosfæren (karbonfjerning). Luftfarten fortsetter å bruke fossilt drivstoff i dette scenarioet.

**Fokuset i analysen er å belyse ressursbruken i de to scenarioene, særlig kraftbruk og kostnader, for å legge til rette for en mer informert diskusjon om dekarbonisering av luftfart.**

### Antagelser:

Denne analysen avgrenses til å evaluere *forskjellen* i ressursbruk for de to veivalgene, og inkluderer derfor ikke avveininger eller diskusjoner knyttet til tilgjengelighet, bærekraft, kostnader, strømforbruk eller øvrige forhold relatert til CO<sub>2</sub>-kilden eller fangst av CO<sub>2</sub>. Videre antas det at andelen CO<sub>2</sub> som må håndteres i de to scenarioene er tilnærmet lik. Dette begrunnes med at tap i e-SAF-prosessen og behovet for å kompensere for oppstrøms utslipp fra fossilt flydrivstoff er av samme størrelsesorden.

Se «Andre effekter» i vedlegget for en mer detaljert gjennomgang av antagelser og øvrige effekter ved de to veivalgene.

## Resultater

Resultatene viser store forskjeller i ressursbruk og kostnader mellom de to scenarioene. Produksjon av e-SAF er svært kraftkrevende og kostbart, mens permanent lagring av CO<sub>2</sub> krever betydelig mindre energi og lavere kostnader. Samtidig viser analysen at klimaeffekten av e-SAF er sårbar for utslipp knyttet til strømforbruket.

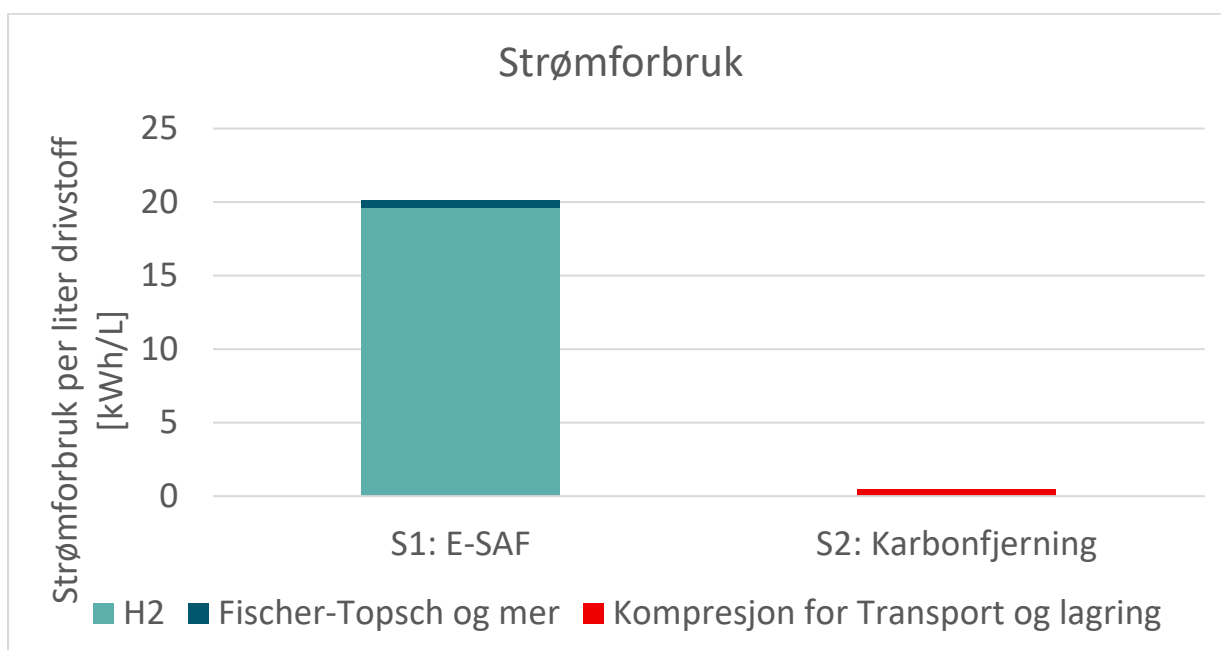
## Strømforbruk

### Scenario 1: 21 kWh per liter drivstoff

Strømforbruket i produksjonen av e-SAF er i stor grad dominert av hydrogenproduksjonen, mens selve syntesen krever en kombinasjon av varme og elektrisitet. Vi legger til grunn et samlet strømforbruk på omtrent 21 kWh per liter e-SAF, hvor rundt 19,5 kWh stammer fra produksjonen av hydrogen.

### Scenario 2: 0,46 kWh per liter drivstoff

Strømforbruket for transport og permanent lagring av CO<sub>2</sub> er relativt begrenset og består i hovedsak av drift av pumper og kompressorer. Vi antar et energiforbruk på 150 kWh per tonn CO<sub>2</sub> for kompresjon til transport og lagring, tilsvarende omtrent 0,45 kWh per liter e-SAF. Skip som brukes til transport av CO<sub>2</sub> drives vanligvis av LNG, som ikke gir direkte strømforbruk, men innebærer utslipp som må kompenseres.



Figur 2 viser forskjellen i strømforbruk mellom scenario 1 og 2, og ekskluderer strømforbruket fra fangsten av CO<sub>2</sub> da denne er lik for begge scenarioene. Strømforbruk er beregnet per liter drivstoff der S1: e-SAF inkluderer hydrogen og syntese, og strømforbruk i S2: Karbonfjerning først beregnes per tonn CO<sub>2</sub> for så omregnes til per liter drivstoff.

## Kostnad

### Scenario 1: 4,2 euro per liter drivstoff

Vi legger til grunn en kostnad på omtrent 4,2 euro per liter e-SAF, rundt sju ganger prisen på fossilt drivstoff. Det er betydelig usikkerhet knyttet til prisutviklingen for e-SAF, men et nivå på sju ganger prisen av fossilt drivstoff fremstår som godt innenfor et realistisk intervall, særlig siden dagens markedspriser ligger langt høyere. For å illustrere prisfølsomheten i analysen inkluderer vi tiltakskostnader basert på et intervall fra fire ganger til ni ganger kostnaden av fossilt drivstoff.

Tall fra Europakommisjonen viser at dagens prisnivå for e-SAF ligger rundt elleve til tolv ganger prisen på fossil jetfuel<sup>6</sup>, noe som tydelig illustrerer at prisforskjellen er signifikant. Disse tallene inkluderer riktignok kostnaden for CO<sub>2</sub> som innsatsfaktor, som er ekskludert fra denne analysen, men tallene gir likevel en relevant indikasjon på prisnivået. Selv under teknisk optimistiske forutsetninger, der produksjon av én liter e-SAF krever cirka 20 kWh elektrisitet, vil en strømpris på 60 euro per megawatttime alene gi en kostnad på omtrent 1,2 euro per liter, altså rundt det dobbelte av prisen på fossil jetfuel. Dette prisnivået er i tråd med NVEs langsiktige kraftmarkedsanalyse som anslår et gjennomsnittlig prisnivå rundt 60 euro per megawatttime, før nettariffer<sup>7</sup>.

Når kapitalutgifter, drift, selve synteseprosessen, distribusjon og marginer i verdikjeden legges til, er det vanskelig å se hvordan totalprisen for e-SAF realistisk kan falle under 2,5 til 3 euro per liter på lang sikt. Dette tilsvarer fire til fem ganger dagens pris på fossilt drivstoff.

På bakgrunn av dette konkluderes det med at forventet kostnad for e-SAF er rundt sju ganger høyere enn for fossilt drivstoff. Dette anslaget vurderes som konservativt og godt begrunnet på kort og mellomlang sikt. Samtidig anerkjennes et potensial til reduksjon ned mot fire-fem ganger kostnadsnivået for fossilt flydrivstoff på lang sikt dersom teknologi og energipriser utvikles gunstig.

### Scenario 2: 0,9 euro per liter

Kostnaden for transport og lagring av CO<sub>2</sub> er anslått til 90 euro per tonn CO<sub>2</sub>, tilsvarende omtrent 0,3 euro per liter drivstoff<sup>8</sup>. Kostnadene vil kunne variere med lokasjon og volum, men anslaget bygger på foreløpige tall fra Langskip<sup>9</sup> og beregninger for skipstransport fra CCSA Clarkson<sup>10</sup>.

Scenario 2 innebærer bruk av konvensjonelt fossilt drivstoff som i dag koster om lag 0,6 euro per liter, noe som gir en total kostnad på 0,9 euro per liter.

En sammenligning av kostnadene for scenario 1 og scenario 2 finnes i figuren nedenfor.

---

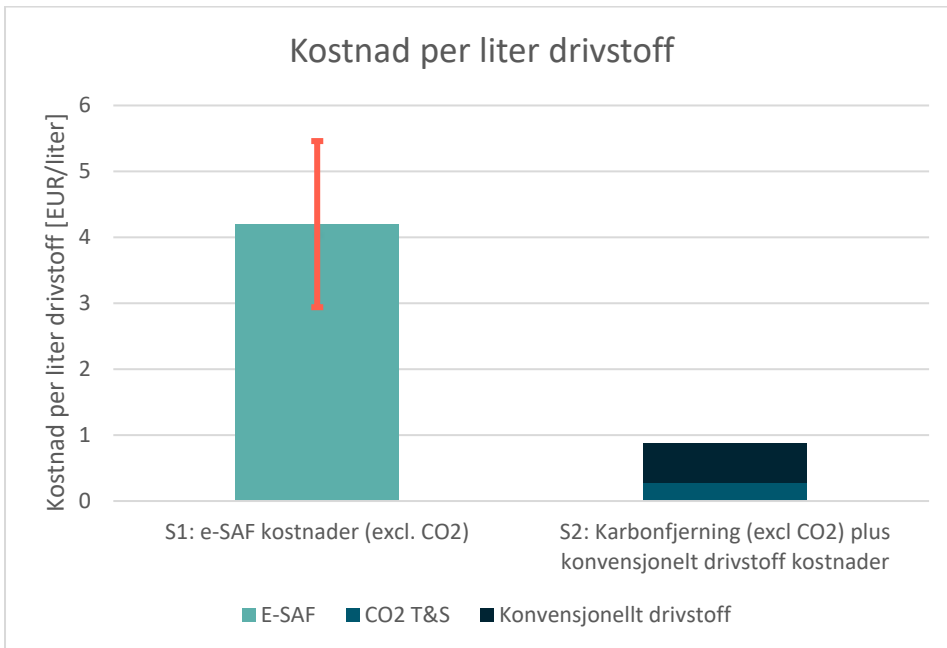
<sup>6</sup> European Commission. Notice on rules for Renewable Fuels of Non-Biological Origin, Official Journal of the European Union, 2025. Tabellen viser pris på ca. 8 465 €/t (RFNBO) mot 734 €/t (fossil kerosen), altså rundt 11–12 ganger nivået.

<sup>7</sup> Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Langsiktig kraftmarkedsanalyse. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/langsiktig-kraftmarkedsanalyse/>

<sup>8</sup> Utslippene som må fraktes til permanent lagring for å kompensere én liter med flydrivstoff er ca 3100gCO<sub>2</sub>. Med en kostnad på 90 EUR/tCO<sub>2</sub> for transport og lager, utgjør dette ca 0.3 EUR per liter.

<sup>9</sup> Gassnova. (2025, June). *Potensiale for kostnadsreduksjoner: Endelig ekstern rapport – Kostnader* [Final external report – Costs]. [https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2025/06/NO\\_Endelig\\_Ekstern-rapport-Kostnader.pdf](https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2025/06/NO_Endelig_Ekstern-rapport-Kostnader.pdf)

<sup>10</sup> Carbon Capture & Storage Association. (2024, July 9). *Clarksons/CCSA report: Updated costs for CO<sub>2</sub> ship transport*.



Figur 3 viser forskjellen i kostnad ved å utføre de to scenarioene. Produksjon av syntetisk flydrivstoff (e-SAF) koster 5 ganger mer enn permanent lagring av CO<sub>2</sub> og fortsatt konvensjonelt drivstoff. Scenario 1 har stor usikkerhet knyttet til den fremtidige prisen av e-SAF. Denne usikkerheten er vist ved et usikkerhetsintervall (i rødt) på ± 30%. Kostnadene er beregnet per liter drivstoff i hvert scenario. For e-SAF er kostnaden en kvalitativ vurdering av kostnad basert på fremtidige kostnadsprognoser, og kostnaden av strømforbruket. For permanent lagring er kostnaden beregnet per tonn CO<sub>2</sub> for transport og lagring og omregnet til per liter drivstoff basert på CO<sub>2</sub>-mengden som må håndteres for tilsvarende klimanytte.

For mer detaljer og kilder til input og antagelser se vedlegg 1.

## Konsekvens for Norsk Luftfart:

Det fylles om lag 1,1 milliarder liter flydrivstoff ved norske lufthavner hvert år. Dersom Norge følger innblandingskravene i ReFuelEU Aviation, må andelen e-SAF øke fra 1,2 prosent i 2030, til 5 prosent i 2035 og videre til 35 prosent i 2050.

Dette får betydelige konsekvenser for både strømforbruk og kostnader.

Selv ved det laveste innblandingsnivået på 1,2 prosent i 2030 vil bruk av e-SAF innebære merkostnader på rundt 0,5 milliarder kroner årlig. Ved 35 prosent innblanding i 2050 øker dette til over 16 milliarder kroner per år. Dette er basert på konservative kostnadsanslag, og faktiske kostnader kan bli høyere.

Samtidig øker strømbehovet kraftig. Ved 35 prosent innblanding vil produksjon av e-SAF kreve om lag 7–8 TWh elektrisitet årlig. Dette tilsvarer rundt fem til seks prosent av dagens totale norske kraftforbruk.

Til tross for dette høye ressursforbruket dekker det bare deler av luftfartens utslipp. Selv om e-SAF skal utgjøre 35 prosent av drivstoffet, vil om lag 30 prosent av flydrivstoffet fortsatt være fossilt i 2050, mens resten er biodrivstoff.

I scenario 2 med permanent lagring av CO<sub>2</sub> kan samme klimaeffekt oppnås med vesentlig lavere ressursbruk. Her øker merkostnadene fra om lag 50 millioner kroner i 2030 til rundt 1,3 milliarder kroner i 2050, samtidig som strømforbruket kun øker fra rundt 6 GWh til om lag 175 GWh.

*Å produsere e-SAF for å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp fra luftfarten koster om lag fem ganger mer og krever rundt 43 ganger mer elektrisk energi enn permanent lagring av CO<sub>2</sub> med en tilsvarende klimanytte, og fortsatt bruk av fossilt drivstoff.*

Tabell 1 viser en detaljert oversikt over strømbehov og kostnader ved ulike innblandingsnivåer i de to scenarioene.

Tabell 1 viser strømbehov, merkostnader og tiltakskostnader for ulike innblandingsnivåer av e-SAF i de to scenarioene. Scenario 1 forutsetter bruk av e-SAF, mens scenario 2 baserer seg på permanent lagring av CO<sub>2</sub> som kompensasjon for fortsatt bruk av fossilt drivstoff. Kostnader og strømforbruk knyttet til fangst av CO<sub>2</sub> kommer i tillegg.

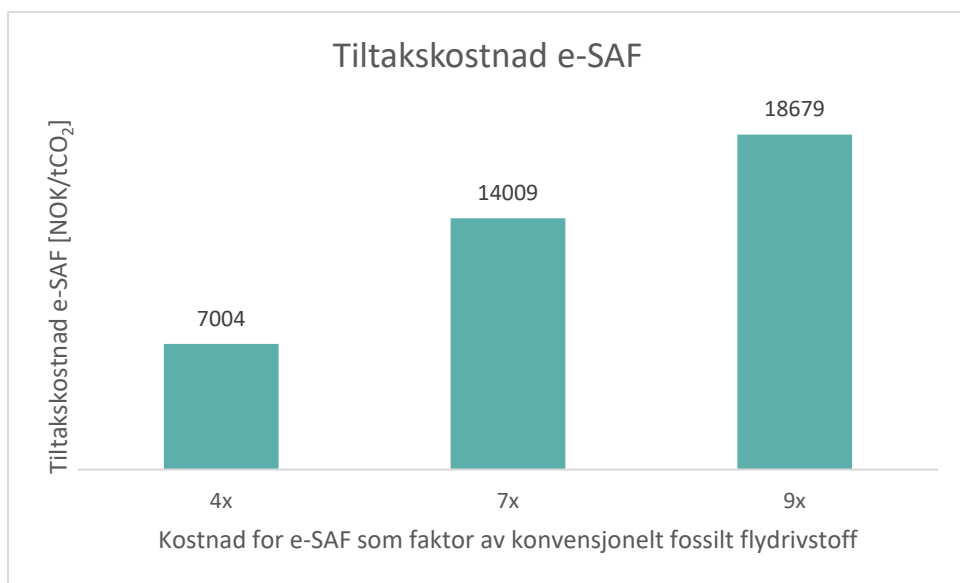
		e-SAF innblandingsgrad		
		1,2 %	5%	35%
Scenario 1: e-SAF	Strømbehov (GWh)	260	1 100	7 700
	Merkostnader sammenliknet med konvensjonelt drivstoff (mill. NOK per år)	560	2 300	16 300
	Tiltakskostnad (NOK per tonn CO <sub>2</sub> )	14 000	14 000	14 000
Scenario 2: Karbonfjerning	Strømbehov (GWh)	6	25	180
	Merkostnader sammenliknet med kun konvensjonelt drivstoff (mill. NOK per år)	47	180	1 200
	Tiltakskostnad (NOK per tonn CO <sub>2</sub> )	1 100	1 100	1 100

## Tiltakskostnad per tonn CO<sub>2</sub>

Tiltakskostnaden for utslippsreduksjon med e-SAF bestemmes i hovedsak av to forhold: hvor mye dyrere drivstoffet er enn fossilt alternativ, og hvor store utslipp som er knyttet til strømmen som brukes i produksjonen. Produksjon av e-SAF er svært kraftkrevende, og utslipp fra strømforbruket vil derfor ha stor betydning for den samlede klimaeffekten.

I denne analysen legges det til grunn at e-SAF koster om lag sju ganger mer enn fossilt drivstoff, ekskludert kostnaden for CO<sub>2</sub>. Med denne forutsetningen gir bruk av e-SAF en tiltakskostnad på rundt 14 000 kroner per tonn CO<sub>2</sub>.

Det er betydelig usikkerhet knyttet til fremtidige kostnader. For å illustrere dette er det også beregnet et intervall der e-SAF koster mellom fire og ni ganger mer enn fossilt drivstoff. Selv med optimistiske antagelser, der kostnaden er fire ganger høyere enn fossilt drivstoff, vil tiltakskostnaden være i størrelsesorden 7 000 kroner per tonn CO<sub>2</sub>. Som vist i figur 4 øker tiltakskostnaden raskt med økende kostnadsnivå for e-SAF.



Figur 4 viser endring i tiltakskostnaden (NOK/tCO<sub>2</sub>) ved å produsere e-SAF for forskjellige kostnadsantagelser for prisforskjellen mellom e-SAF og det fossile alternativet.

I scenarioriet med permanent lagring av CO<sub>2</sub> er tiltakskostnaden betydelig lavere, rundt 1 100 kroner per tonn CO<sub>2</sub>. Forskjellen skyldes i hovedsak at dette alternativet krever langt mindre energi og dermed har lavere kostnader.

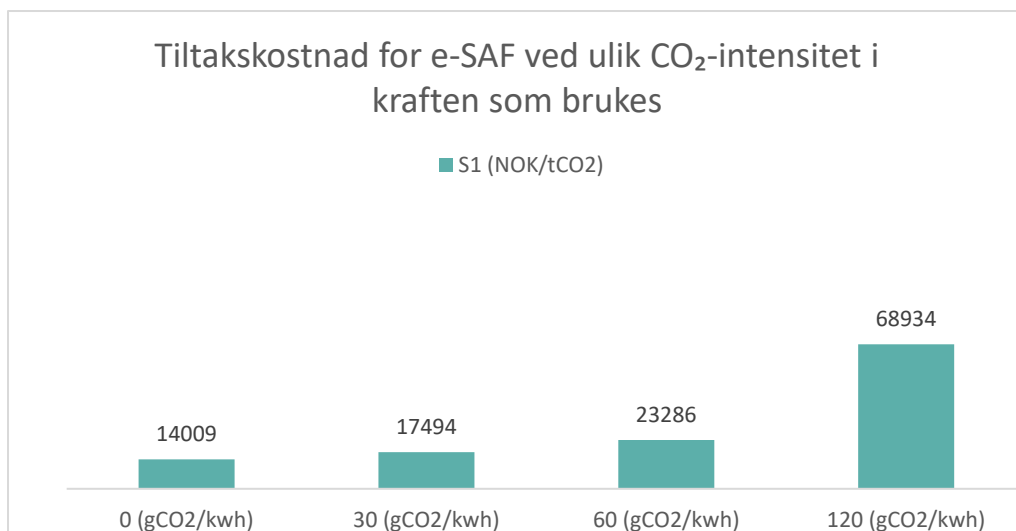
Det er viktig å merke seg at kostnader knyttet til fangst av CO<sub>2</sub> ikke er inkludert i disse beregningene. Dette gjelder begge scenarioriene, og påvirker derfor ikke hovedkonklusjonen om forskjeller i ressursbruk og kostnad mellom alternativene.

### Betydningen av utslipp fra strømproduksjon

Utslippene knyttet til strømforbruket er avgjørende for om produksjon av e-SAF faktisk gir en klimaeffekt. Siden prosessen er svært kraftkrevende, vil selv moderate utslipp fra strømproduksjonen vil få stor betydning. Dersom strømmen har høye utslipp, vil deler av klimaeffekten fra drivstoffet bli motvirket av utslippene fra energibruken.

I analysen er det lagt til grunn et tilnærmet nullutslippsnivå for strømmen som et best case. Med en CO<sub>2</sub>-intensitet på rundt 30 gram CO<sub>2</sub> per kWh, som tilsvarer nivået i det norske kraftsystemet, øker tiltakskostnaden til om lag 17 000 kroner per tonn CO<sub>2</sub><sup>11</sup>.

Ved høyere utslipp fra strømproduksjonen svekkes klimaeffekten raskt. Som vist i figur 5 øker tiltakskostnaden betydelig når CO<sub>2</sub>-intensiteten i strømmen øker, samtidig som den reelle klimaeffekten reduseres. Dersom utslippene fra strømproduksjonen er om lag 140 gram CO<sub>2</sub> per kWh, vil utslippene fra energibruken være like store som utslippsreduksjonen fra drivstoffet. Over dette nivået gir produksjon av e-SAF netto økte utslipp, og tiltaket får dermed en negativ klimaeffekt.



Figur 5 viser hvordan tiltakskostanden (NOK/tCO<sub>2</sub>) for forskjellige CO<sub>2</sub>-intensiteter for kraftforbruket til produksjonen. Klimagevinsten ved å produsere e-SAF blir nullet ut av utslipp fra kraftproduksjonen ved ca. 140 gCO<sub>2</sub>/kWh. Figuren forutsetter at e-SAF koster sju ganger mer enn konvensjonelt flydrivstoff.

Til sammenligning er gjennomsnittlig CO<sub>2</sub>-intensitet i strømmettet i EU rundt 180 gram CO<sub>2</sub> per kWh<sup>12</sup>. Dette er godt over nivået der e-SAF gir positiv klimaeffekt, og innebærer at produksjon basert på europeisk gjennomsnittskraft i praksis vil kunne gi økte utslipp.

Dette illustrerer at kraftkrevende klimatiltak forutsetter tilgang på strøm med svært lave utslipp for å gi reell klimaeffekt.

<sup>11</sup> International Energy Agency. (n.d.). *Energy statistics data browser: CO<sub>2</sub> intensity, Norway*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=NOR&fuel=Key%20indicators&indicator=CO2Intensity>

<sup>12</sup> European Environment Agency. (2025, June 27). *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

## Konklusjon

Hvordan biogent CO<sub>2</sub> anvendes har stor betydning for hvor effektivt samfunnet kan redusere klimagassutslipp. Analysen viser at bruk av biogent CO<sub>2</sub> til e-SAF gir vesentlig lavere klimaeffekt per krone og per kWh enn permanent lagring.

For samme klimaeffekt vil produksjon av e-SAF kreve om lag fem ganger høyere kostnader og rundt 40 ganger mer elektrisk energi enn permanent lagring av CO<sub>2</sub> samt fortsatt bruk av fossilt drivstoff. Dette gjør e-SAF til et svært ressurskrevende klimatiltak. Selv ved moderate innblandingsnivåer innebærer det betydelige merkostnader og et stort behov for elektrisk kraft, i en situasjon der både kraft og kapital er knapphetsgoder.

Samtidig er klimaeffekten sårbar. Analysen viser at dersom CO<sub>2</sub>-intensiteten i strømproduksjonen som kreves er om lag 140 gram CO<sub>2</sub> per kWh, vil utslippene fra energiforbruket være like store som utslippsreduksjonen ved bruk av drivstoffet. Ved høyere utslipp fra strømproduksjonen gir e-SAF netto økte utslipp. Med et europeisk kraftsystem på rundt 180 gram CO<sub>2</sub> per kWh innebærer dette at produksjon av e-SAF i praksis kan gi negativ klimaeffekt.

Tiltakskostnaden for e-SAF er høy. Selv under gunstige forutsetninger ligger kostnaden betydelig over nivået for de fleste andre klimatiltak, og flere ganger høyere enn tiltak som i dag regnes som kostbare i norske analyser. Alternativet med permanent lagring av CO<sub>2</sub> gir i denne analysen samme klimaeffekt, men med langt lavere ressursbruk og kostnader. Forskjellen skyldes i hovedsak det store energibehovet i produksjon av e-SAF.

Analysen synliggjør dermed en tydelig prioritering: bruk av store mengder elektrisk kraft på e-SAF gir vesentlig lavere klimaeffekt per krone og per kWh enn alternative tiltak.

Samtidig er det viktig å understreke at analysen ikke vurderer alle relevante forhold. Den sier ikke noe om i hvilken grad ressursene i praksis vil bli brukt mer effektivt dersom e-SAF ikke brukes i stor skala, eller om bortfall av en lite effektiv løsning faktisk erstattes av bedre tiltak.

Videre innebærer scenarioet med permanent lagring fortsatt bruk av fossilt drivstoff, noe som kan bidra til å opprettholde etterspørselen etter fossil energi og tilhørende infrastruktur. Dette må imidlertid ses i et systemperspektiv, der målet er å redusere utslipp raskest mulig gitt begrensede ressurser. Luftfarten er en sektor med få modne alternativer på kort sikt, og selv med høy innblanding av e-SAF vil en betydelig andel av drivstoffet fortsatt være fossilt.

Selv om det finnes forhold som må nyanseres og diskuteres videre, særlig knyttet til systemeffekter og langsiktig omstilling, er hovedbildet tydelig: hvordan biogent CO<sub>2</sub> anvendes har avgjørende betydning for hvor effektivt samfunnet kan redusere klimagassutslipp.

## Anbefalinger og implikasjoner

Analysen har en rekke implikasjoner for beslutningstakere. På bakgrunn av resultatene peker Bellona på behovet for tydelige prioriteringer i hvordan begrensede ressurser som kraft og kapital brukes i klimapolitikken, og at tiltak må vurderes i et systemperspektiv der samlet klimaeffekt står sentralt. Videre peker analysen på alternative måter å redusere utslipp fra luftfarten som ikke innebærer bruk av e-SAF. Til slutt anbefales det hvordan ressursene som ellers ville gått til e-SAF kan omdisponeres til tiltak som gir større klimaeffekt, inkludert et konkret forslag til hvordan dette kan håndteres i praksis.

### Anbefalinger for ressursbruk og utnyttelse

- **Prioriter klimatilnakt med høy effekt per kWh og per krone.** e-SAF er en lite effektiv bruk av knappe ressurser og bør nedprioriteres de neste tiårene.
- **Ressursbruk må vurderes i et systemperspektiv.** Prioriteringer av ressurser bør ta hensyn til samlet klimaeffekt, bruk av offentlige midler og konsekvenser for øvrig økonomi, inkludert økt kraftbehov, strømpriser, industriell utvikling og husholdningenes kostnader.
- **Utvikling av infrastruktur for permanent CO<sub>2</sub>-lagring bør prioriteres.** Biogent CO<sub>2</sub> bør lagres permanent, og gir høy og varig klimaeffekt uten stort energibehov. Rammeverket for permanent lagring av biogent CO<sub>2</sub> bør styrkes.
- **Enovas virkemidler bør innrettes slik at tiltak med høy klimaeffekt per ressursenhet prioriteres.** Dagens støtteordninger åpner for finansiering av både karbonfangst, hydrogen og e-SAF, noe som kan insentivere tiltak med høyt energibehov og lav klimaeffekt. Dette bør justeres slik at permanent lagring av CO<sub>2</sub> prioriteres fremfor bruk av CO<sub>2</sub> til drivstoffproduksjon, og at Enova-midler i større grad rettes mot tiltak som gir størst utslippsreduksjon per krone og per kWh.

### Anbefalinger for redusert klimapåvirkning i norsk luftfart

- **Elektrifisering bør prioriteres der det er teknisk mulig.** Batterielektriske fly bør utvikles og tas i bruk på korte ruter. El-fly gir betydelige utslippsreduksjoner med lavt energibehov.
- **Etterspørsel etter flyreiser bør reduseres der gode alternativer finnes.** Der elektriske eller mer energieffektive transportløsninger er tilgjengelige, bør disse prioriteres fremfor luftfart.
- **Operative tiltak i luftfart som gir raske utslippskutt bør prioriteres.** Optimalisering av flyhøyde, ruter og tidspunkt kan redusere klimaeffekter som kondensstriper betydelig.
- **Klimatilnakt i konvensjonell drivstoffproduksjon bør gjennomføres.** Lavere innhold av svovel og aromatiske forbindelser i konvensjonelt flydrivstoff kan redusere dannelse av sot og kondensstriper, og bør prioriteres der det gir effekt.
- **Vær realistisk om rollen til e-SAF.** Selv i 2050 vil en betydelig andel av flydrivstoff være fossilt, samtidig som tiltaket er svært ressurskrevende.

## Anbefalinger for luftfartens bidrag til utslippskutt utenfor egen sektor

- **Midler som ellers ville gått til e-SAF bør kunne omdisponeres til mer effektive klimatiltak utenfor luftfarten.** e-SAF er i en særstilling, og nødvendige ressurser tiltenkt e-SAF bør allokere til klimatiltak som gir vesentlig høyere klimaeffekt per krone og per kWh. Det er imidlertid avgjørende at slike midler faktisk brukes til dokumenterte utslippsreduksjoner eller karbonfjerning, og ikke ender opp som økt økonomisk handlingsrom uten klimaeffekt. Ordninger må derfor sikre at omdisponerte midler gir reelle og tilleggsmessige utslippskutt.
- **Alternativ oppfylging av innblandingskravet for e-SAF i luftfart bør utredes.** En mulighet er en buy-out av e-SAF-kravet til et dedikert fond for permanent karbonfjerning, med en pris minst tilsvarende forventet merkostnad for e-SAF. Ordningen bør ikke etablere en direkte kobling mellom luftfart og bio-CCS, men kanaliseres via et fond med strenge kvalitetskriterier, for å unngå at billig, lavkvalitets eller usikker karbonfjerning forsinker nødvendige utslippskutt eller undergraver kvotesystemet. Fondet bør prioritere skalerbare løsninger med høy kvalitet og permanens, samtidig som det kan ta begrenset risiko i en læringsfase for å bygge et robust målings, rapporterings og verifiserings-system og modne markedet.

## Vedlegg 1

Parameterne i tabellen nedenfor brukes til å beregne strømforbruk, kostnader og klimaeffekt per liter drivstoff i hvert scenario. Utslippsfaktorer, energiinnhold og tetthet brukes til å omregne mellom gCO<sub>2</sub>, liter drivstoff og tonn CO<sub>2</sub>, mens virkningsgrad og tap i verdikjeden justerer hvor mye CO<sub>2</sub> og energi som må håndteres for tilsvarende klimanytte. Enhetskostnader for e-SAF og for CO<sub>2</sub>-transport og lagring omregnes til merkostnad per liter, før resultatene skaleres lineært med innblandingsgrad til årlige tall for norsk luftfart.

Input	Data	Enhet	Kilde
Energiinnhold H <sub>2</sub>	56	kWh/kg H <sub>2</sub> Kilde	TNO <sup>13</sup>
Kostnad for H <sub>2</sub>	5	EUR/kg H <sub>2</sub> (Stor usikkerhet)	TNO <sup>10</sup>
Kostnad for elektrisitet	60	EUR/MWh	NVE <sup>7</sup>
Elektrisitet for å produsere e-SAF	0,5	kWh/l e-SAF	MDIR <sup>14</sup>
Varme for å produsere e-SAF	1,3	kWh/l e-SAF	MDIR <sup>11</sup>
Reduksjon i energibehov med varmepumpe	25	prosent	-
Hydrogenbehov per liter e-SAF	0,35	kg H <sub>2</sub> /l e-SAF	Lu et al. <sup>15</sup>
Oppstrøms utslipp flydrivstoff	0,6	kg CO <sub>2</sub> /l fuel	Gilbert et al. <sup>16</sup>
Kostnad konvensjonelt flydrivstoff	0,6	EUR/l	Sverige <sup>17</sup>
CO <sub>2</sub> -innhold per liter e-SAF	2,5	kg CO <sub>2</sub> /l e-SAF	ICCT <sup>18</sup>
LHV drivstoff	43	MJ/kg	
Tetthet drivstoff	0,8	kg/l	
Karbonutnyttelseeffektivitet	85	prosent (inkludert resirkulering)	MDIR <sup>11</sup>
Utslipp for transport og lagring av CO <sub>2</sub>	2	prosent (Northern Lights data)	
Elektrisitet for komprimering for CO <sub>2</sub> -lagring	150	kWh/t CO <sub>2</sub>	TCM <sup>19</sup>
Kostnad for transport og lagring av CO <sub>2</sub>	90	EUR/t CO <sub>2</sub>	Gassnova <sup>20</sup>

<sup>13</sup> TNO. (2024). *TNO-rapport R10766* {PDF}. <https://publications.tno.nl/publication/34642511/mzKClN/TNO-2024-R10766.pdf>

<sup>14</sup> Miljødirektoratet. (2022, juni). *Nordic ElectroFuel søker om etablering av demonstrasjonsanlegg på Herøya* [Høringsdokument]. <https://www.miljodirektoratet.no/hoeringer/2022/juni-2022/nordic-electrofuel-soker-om-etablering-av-demonstrasjonsanlegg-pa-heroya/>

<sup>15</sup> Lu, X., Li, Y., Chen, Y., & Zhang, X. (2022). [Tittel på artikkelen]. *Energy & Environmental Science*. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2022/ee/d1ee03437e>

<sup>16</sup> Gilbert, P., & Coauthors. (2022). [Tittel på artikkelen]. *Nature Communications*, (årgang). <https://www.nature.com/articles/s41467-022-35392-1>

<sup>17</sup> Swedish Government. (2019). *Biojet för flyget*. Stockholm. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2019/03/so-20193/>

<sup>18</sup> International Council on Clean Transportation. (2020). *CO<sub>2</sub> emissions from commercial aviation*. The ICCT. <https://theicct.org/publication/co2-emissions-from-commercial-aviation/>

<sup>19</sup> Mangalapally, H. P., Oyenekan, B. A., Steeneveldt, R., Hoff, K. A., & Sørensen, T. (2018). *Results of the fourth Technology Centre Mongstad campaign (LVC testing)*. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 75, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.05.020>

<sup>20</sup> Gassnova SF. (2025). *Endelig ekstern-rapport: Kostnader* [PDF-rapport]. [https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2025/06/NO\\_Endelig\\_Ekstern-rapport-Kostnader.pdf](https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2025/06/NO_Endelig_Ekstern-rapport-Kostnader.pdf)

## Vedlegg 2

### Klimaeffekt av å fly med e-SAF

E-SAF (e-SAF) regnskapsføres som CO<sub>2</sub>-nøytralt når det forbrennes. Høyere innblanding av e-SAF gir dermed lavere CO<sub>2</sub>-utslipp, men luftfart påvirker klima på flere måter enn CO<sub>2</sub>-utslipp, som dannelse av kondensstriper.

Nordic electrofuel planlegger produksjon av e-SAF i Norge, og hevder forbrenning av e-SAF ikke danner kondensstriper<sup>21</sup>, men dette er tvilsomt. Dersom drivstoff produseres med lavere innhold av aromatiske hydrokarboner og svovel vil det produseres mindre sot og partikler som kan redusere antall iskrystaller i kondensstriper, men det er også mange andre faktorer som påvirker dannelse av kondensstriper slik som temperatur og luftfuktighet, flyhøyde, motor-design, og partikler fra ufullstendig forbrenning eller allerede eksisterende partikler i atmosfæren som vann kan fryse til is på.

Forskning på kondensstriper fra e-SAF er pågående. Én studie<sup>22</sup> har vist en 35% reduksjon av sotpartikler og 55% reduksjon av kondensstriper med bioflydrivstoff (HEFA-SPK, en drivstofftype med lavt innhold av aromatiske hydrokarboner og svovel). En annen studie<sup>23</sup> viser at en blanding av e-SAF og konvensjonelt flydrivstoff (41% Fischer-Tropsch e-SAF) gir om lag 40% reduksjon av iskrystaller.

Lavt innhold av aromatiske hydrokarboner og svovel vil føre med seg tekniske problemer som må løses slik som dårligere smøring, dårligere materialkompatibilitet og statisk elektrisitet<sup>24</sup>.

Lavt innhold av aromatiske hydrokarboner og svovel er ikke unikt for e-SAF. Det er teknisk mulig å produsere konvensjonelt fossilt flydrivstoff med lavt innhold av disse stoffene, slik som på raffineriet på Kalundborg<sup>25</sup>.

Det er en vanlig misoppfatning at forbrenning av e-SAF eliminerer utslipp av NO<sub>x</sub><sup>26</sup>. NO<sub>x</sub>-utslipp vil ikke reduseres betydelig dersom det brukes e-SAF. NO<sub>x</sub> vil dannes når drivstoff forbrennes i luft bestående av nitrogen og oksygen.

### Andre effekter

Denne analysen sammenlikner bruk av biogent CO<sub>2</sub> til produksjon av e-SAF for luftfart med permanent lagring av samme CO<sub>2</sub>, med hovedvekt på forskjeller i strømforbruk, kostnader og samlet klimaeffekt. De to alternativene kan gi tilnærmet lik klimagevinst, men skiller seg markant i ressursbruk og økonomisk effektivitet.

Sammenlikningen er avgrenset til disse faktorene, men det finnes også andre systemiske forhold som kan påvirke vurderingen av hvordan biogent CO<sub>2</sub> bør brukes. Ett slikt forhold er tilgjengeligheten av permanent CO<sub>2</sub>-lagring, både når det gjelder langsiktig geologisk kapasitet og mer kortsiktige begrensninger i transport og injeksjonskapasitet. Slike begrensninger kan i enkelte tilfeller framstå som et argument for alternative anvendelser av CO<sub>2</sub>, samtidig som økt etterspørsel etter lagring kan bidra til raskere utvikling av nødvendig infrastruktur. Videre kan økt produksjon av e-SAF påvirke raffinerienes produktbalanse, ettersom jetdrivstoff

---

<sup>21</sup> EIC Scaling Club (2025), [Interview with Nordic Electrofuel](#).

<sup>22</sup> Märkl, R. S. et al. (2024) [Powering aircraft with 100 % sustainable aviation fuel reduces ice crystals in contrails](#)

<sup>23</sup> Voigt, C., et al. (2021) [Cleaner burning aviation fuels can reduce contrail cloudiness](#).

<sup>24</sup> M. Miller, EASA. 2010: [Reduction of sulphur limits in aviation fuel standards \(SULPHUR\)](#).

<sup>25</sup> Kalundborg Refinery (2026), [World Premiere of Low Aromatic Jet Fuel in Kalundborg](#)

<sup>26</sup> Møre og Romsdal fylkeskommune (2023), [Energistasjonar og ladepunkt. Fossilfri transportsektor. Transport til lands, vanns og i lufta over på null- og lavutslepp](#)

kun utgjør én del av raffineriets samlede produksjon. Effektene av dette avhenger av utviklingen i etterspørsel etter øvrige raffinerte produkter og muligheten for å tilpasse produksjonen over tid.

Transport av CO<sub>2</sub> til permanent lagring kan være krevende for enkeltprosjekter, men i et systemperspektiv anses mulighetene for å kunne transportere CO<sub>2</sub> til lager som mulig innenfor realistiske rammer.

Utslipp og energibruk fra raffinerier er i denne analysen regnskapsført som del av drivstoffets oppstrømsutslipp og kompensert gjennom ytterligere karbonfjerning der det er relevant. Det kan argumenteres for at raffinerier bør elektrifiseres for å minimere gjenværende utslipp. Imidlertid er strømforbruket i dagens raffinerier lavt, rundt 0,05 kWh per liter drivstoff, sammenliknet med om lag 20–21 kWh per liter for e-SAF. Selv ved dyp elektrifisering av raffinerier vil ekstra strømbehov være i størrelsesorden 1–2 prosent av strømforbruket til produksjon av e-SAF, og er derfor neglisjert i denne analysen.<sup>27</sup> Disse forholdene drøftes ikke kvantitativt i analysen, men kan være utslagsgivende i enkelt tilfeller.

---

<sup>27</sup> van Vliet, O. P. R., & Giannakidis, G. (2012). *EU refinery energy systems and efficiency* (Concawe Report 2/12). CONCAWE. [https://www.researchgate.net/publication/292568996\\_EU\\_refinery\\_energy\\_systems\\_and\\_efficiency](https://www.researchgate.net/publication/292568996_EU_refinery_energy_systems_and_efficiency)

**BELLONA**