

Beregnet til
Publisering

Dokument type
Kortversjon av hovedrapport

Dato
03 / 2013

BÆREKRAFTIG BIODRIVSTOFF FOR LUFTFART



SAMMENDRAG

Utredningen *Bærekraftig biodrivstoff for luftfart i Norge* er utført for Avinor, SAS, Norwegian og NHO Luftfart. Rapporten utgjør et nytt kunnskapsgrunnlag for biodrivstoffproduksjon til sivil luftfart i Norge. Målet har vært å vurdere om det er grunnlag for en bedriftsøkonomisk lønnsom og bærekraftig produksjon av Jet A-1 i Norge innen 2020-25. Hele verdikjeden er vurdert, fra dyrking og uttak av råstoff, prosessering og raffinering, til ferdig biodrivstoff levert flyplass.

Prosjektet har vært et grundig og omfattende pionerarbeid, men det er nødvendig med videre kartlegging på et mer detaljert nivå for å fatte investeringsbeslutninger og bestemme konkret lokalisering av et eller flere produksjonsanlegg.

I tillegg til flåtefornying er bruk av bærekraftig Jet A-1¹ biodrivstoff til fly det viktigste tiltaket for å begrense klimagassutslippene fra luftfarten de neste 10-15 årene. Det er en forutsetning at drivstoffet skal være bærekraftig. EUs bærekraftskriterier er brukt som definisjon på bærekraft i prosjektet. Av bærekraftshensyn er det sett bort fra råstoff som kan brukes som mat eller fôr til husdyr.

For å oppnå luftfartssektorens egne målsetninger om 10-15 % reduksjon i klimagassutslipp fra bransjen i 2020-25 ved innfasing av biodrivstoff, er det behov for i størrelsesorden 190-250 millioner liter fornybar Jet A-1 ved gitte forutsetninger. Dette tilsvarer biomasse med et energiinnhold på 6-8 TWh.

Det er i dag ingen flytekniske hindre for å ta fornybar Jet A-1 i bruk, men flere av teknologiene for å produsere drivstoffet er umodne for fullskala produksjon eller ulønnsomme med dagens fossile Jet A-1 priser og CO₂-avgifter. Av flere mulige produksjonsprosesser vurderer Rambøll to som best egnet for en norsk verdikjede innen 2025:

1. Termokjemisk prosessering og forgassing av biomasse fra skog (Fischer-Tropsch, FT)
2. Raffinering av bio-alkoholer² til Jet A-1 (Alcohol-to-Jet, AtJ).

For prosessene vil det i tillegg til Jet A-1 produseres ulike biprodukter, blant annet biodiesel til bruk i andre deler av transportsektoren. FT-prosessen ble teknologisertifisert i 2009³, mens AtJ-prosessen er under sertifisering (forventet 2013/2014).

Analysen av mulige landbaserte og marine råstoff i Norge og internasjonalt viser at biomasse fra skog er viktigst i Norge på kort sikt. Det vil også være gode muligheter for import til konkurransedyktige priser. Norskproduserte råstoff fra mikro- og makroalger⁴ til energiformål vil neppe utgjøre et betydelig volum før etter 2025.

Avvirkningen i norske skoger vil i 2020-25 mest sannsynlig være om lag som i dag. Det betyr et potensial for økt råstoffuttak på 7 TWh i energiinnhold, hovedsakelig bestående av hogstavfall og noe massevirke. Dersom hele dette volumet brukes til biodrivstoffproduksjon vil det gi om lag 230 millioner liter Jet A-1 avhengig av prosesseringsteknologi. Til sammenligning vil behovet for Jet A-1 være ca. 1000 mill. liter i Norge i 2020. Det er imidlertid et teknisk potensial for større uttak av biomasse, der krav til biologisk mangfold og bærekraft fortsatt er ivarettatt.

Et produksjonsanlegg som produserer 50 mill. liter i året av biodrivstoff av ulik kvalitet er lagt til grunn for kostnadsberegningene i denne utredningen. Et FT-produksjonsanlegg vil normalt kunne produsere ca. 50 % Jet A-1. Biodiesel, nafta og andre biprodukter utgjør resten av produktene. Det vil være behov for 8-10 slike anlegg, eventuelt færre og større anlegg, for å produsere 230 mill. liter Jet A-1. En mulighetsstudie for gunstige lokaliseringssteder for anlegget er gjennomført, og det er beregnet tilhørende logistikk-kostnader.

Literprisen for FT-produsert Jet A-1 kan bli konkurransedyktig med fossil Jet A-1 innen 2025, forutsatt at inntekter fra salg av biproduktene biodiesel og bionafta inkluderes. Estimerte produksjonskostnader i 2012 er 11 NOK/liter for fornybar Jet A-1, som er 5 NOK/liter høyere enn dagens markedspris for fossil

¹ Syntetisert Jet A-1 basert på biomasse

² Bioetanol, bio-butanol osv.

³ HEFA-prosessen ble teknologisertifisert i 2011. HEFA står for Hydroprocessed Esters and Fatty Acids.

⁴ Makroalger: tang og tare

Jet A-1. Basert på teorien om læringskurver⁵ forventes produksjonskostnadene å synke til 7 NOK/liter i 2025 og være på nivå med markedsprisen for Jet A-1. Inntektene fra biodiesel og bionфта er her estimert til 141 mill. NOK, basert på dagens markedspriser, og dette gir en kostnadsreduksjon på 5 NOK per liter produsert Jet A-1 (inkludert over).

Produksjonskostnaden for Jet A-1 fra AtJ-prosessen er derimot langt høyere. Her foreligger det ikke tilstrekkelig informasjon om biprodukter til at salgsinntekter kan inkluderes. Prisen på bio-alkoholer er det dominerende kostnadselementet for AtJ-prosessen. Hvordan denne prisen utvikler seg vil være avgjørende for når produksjon av Jet A-1 fra AtJ kan bli lønnsomt. På grunn av umoden teknologi og lite tilgjengelig data bør imidlertid resultatene for begge prosesser tillegges 50 % usikkerhet.

Klimaeffekten av biodrivstoffene er beregnet med livsløpsvurderinger (LCA⁶). Resultatene viser at FT-prosesser gir en utslippsreduksjon på om lag 81 % i forhold til fossil jet, mens AtJ gir en reduksjon på om lag 65 %. Begge prosessene oppfyller dermed kravet i EUs bærekraftskriterier om minimum 60 % reduksjon i klimagassutslipp for biodrivstoffet fra nye biodrivstoffanlegg etter 2017. Hvilken metodisk tilnærming som best reflekterer påvirkningen på miljø og samfunn er imidlertid under diskusjon blant fagekspertene.

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, men det er da spesielt viktig at man får solgt biproduktene fra produksjonen. Estimaten er gjort på et overordnet nivå, og det vil være behov for mer detaljerte kalkyler basert på et spesifikt anlegg for å analysere lønnsomheten mer nøyaktig. I dag er det imidlertid teknologisk og økonomisk usikkerhet knyttet til slik produksjon, så forutsigbare og langsiktige rammevilkår er nødvendig for å redusere risiko og dermed realisere bærekraftig Jet A-1 som et miljøvennlig alternativ for norsk luftfart.

⁵ Framskrivninger basert på læringskurver er nærmere beskrevet i hovedrapporten. Investeringskostnadene vil synke for hvert nye anlegg som bygges, og prosessen vil bli mer effektiv jo modnere teknologien er og dermed redusere driftskostnadene.

⁶ Life Cycle Analysis, LCA

1. INNLEDNING

Luftfart påvirker miljøet både lokalt og globalt. De senere årene har det blitt stadig mer oppmerksomhet rundt luftfartens klimapåvirkning.

Klimagassutslippene fra innenriks luftfart utgjorde i 2011 1,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, eller 2,3 prosent av Norges samlede utslipp. Klimagassutslippene fra utenrikstrafikken var i 2010 1,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Bransjen forventer trafikkvekst frem mot 2025. Effekten av utslipp i høyere luftlag antas i tillegg å gi raskere oppvarmingseffekt på kort sikt.⁷

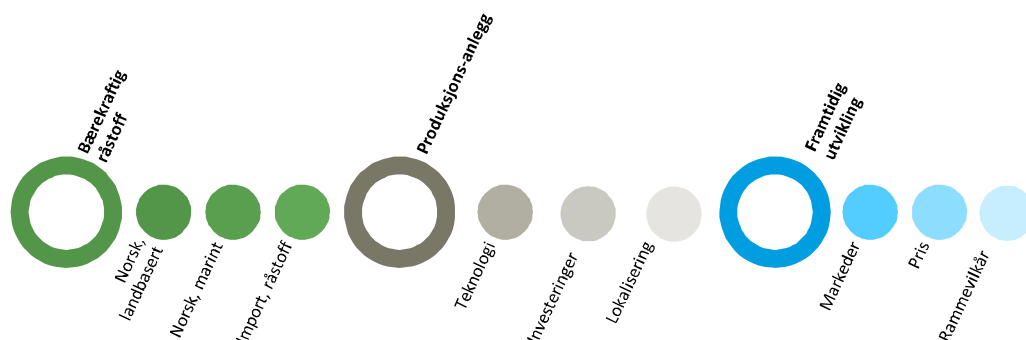
Luftfartsbransjen i Norge erkjenner klimautfordringene og ønsker å bidra aktivt til å redusere klimagassutslippene fra luftfart. Næringens viktigste tiltak for å redusere klimagassutslippene er knyttet til flyteknologi og flåteutskifting, flyoperasjoner og drift av lufthavnene. Med forventet trafikkvekst vil imidlertid iverksatte tiltak neppe være tilstrekkelig for å redusere eller stabilisere utslippene. Et viktig tiltak for å redusere klimagassutslippene vil derfor være å ta i bruk biodrivstoff, men bærekraftig Jet A-1 er kun tilgjengelig i meget små volumer til høye priser i markedet i dag. Gjennom dette prosjektet ønsker luftfartsbransjen å bidra til å styrke kunnskapsgrunnlaget om mulighetene for å etablere bærekraftig produksjon av Jet A-1 i Norge.

Rambøll har, på bakgrunn av egne og innkjøpte delutredninger, utredet mulighetene for å etablere bedriftsøkonomisk lønnsom produksjon av bærekraftig biodrivstoff til sivil luftfart i Norge. Prosjektet har inkludert delutredninger på spesifikke temaer:

1. «*Benchmarking av konverterings- og produksjonsteknologier for biodrivstoff til luftfart*», Sintef Energi
2. «*Bærekraftig landbasert biomassepotensial*», Universitetet for Miljø og Biovitenskap, UMB
3. «*Mulighetsstudie lokalisering og logistikkanalyse for prosessanlegg for produksjon av biodrivstoff*», Analyse & Strategi
4. «*Marine ressurser for biodrivstoff til luftfart*», DNV KEMA
5. «*Import av biomasse og biodrivstoff for luftfart*», LMC International

Målsetningen i prosjektet har vært å beregne en pris per liter for bærekraftig Jet A-1 produsert i Norge med norske ressurser fram til og med perioden 2020-25.

Hele verdikjeden fra uttak av biomasse til etablering og drift av produksjonsanlegg er kartlagt og dokumentert. Figuren under viser hovedpunktene som er blitt utredet.



Et utgangspunkt for utredningen har vært at produksjonen skal baseres på lokale og nasjonale ressurser for en *norsk* verdikjede. Importmuligheter har vært sett på kun som et supplement. Det har ikke vært en del av oppgaven å sammenligne bærekraftig Jet A-1 med andre tiltak i luftfarten, og utredningen omfatter heller ikke samfunnsøkonomiske vurderinger knyttet til produksjon av fornybar Jet A-1 i Norge.

⁷ Avinor, Norwegian, NHO Luftfart, SAS og Widerøe (2008), *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart*, og (2011) *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart*, Rapport 2.

Arbeidet har blitt utført i tett samarbeid med prosjektets styringsgruppe ledet av Avinor, med representanter fra NHO Luftfart, Norwegian og SAS. I tillegg har eksterne fagmiljø vært involvert gjennom en referansegruppe bestående av representanter fra industri og næringsliv, forskning og utvikling, biomasseprodusenter, miljøorganisasjoner og andre interesseorganisasjoner.

Prosjektet har kartlagt hele verdikjeden fra bærekraftige ressurser til lovende teknologier for bærekraftig Jet A-1 i Norge. Det har vært et stort omfang av nybrottsarbeid, men med bruk av anerkjente metoder for beregning av klimaeffekt og livsløpsanalyser. Flere av resultatene er usikre ettersom teknologi for produksjon av bærekraftig Jet A-1 er umoden og lite utprøvd i større skala, og det er begrenset tilgang til data. Det er også usikkerhet rundt markedsutvikling og rammevilkår, samtidig som det er faglig uenighet om metodisk tilnærming i forhold til beregning av klimaeffekt og definisjonen av bærekraftig uttak.

2. BAKGRUNN

En samlet norsk luftfartsbransje har over flere år kartlagt klimagassutslippene fra fly- og helikoptertrafikk og utredet utslippsreducerende tiltak. De langt største utslippene kommer fra selve flytrafikken, og det viktigste utslippsreducerende tiltaket på kort sikt er knyttet til flåteutskifting. I 1999 ble det innført CO₂-avgift på flygninger innenlands, og fra 2012 er innen- og utenriksflygninger inkludert i EUs kvotehandelssystem. Med forventet trafikkvekst er imidlertid tiltakene sannsynligvis ikke tilstrekkelige for å nå bransjens egne ønsker om stabilisering av klimagassutslippene⁸.

Helt nye teknologiske løsninger, som elektrisk fremdrift basert på brenselcelle og batteri, vil kreve omfattende designendringer av fly og antas å ligge langt frem i tid. Luftfartssektoren mener derfor at det på kort og mellomlang sikt kun er innfasing av biodrivstoff som vil kunne gi betydelige utslippsreduksjoner ut over effektiviseringstiltakene.

Fornybar Jet A-1 kan i dag blandes inn 50 % i fossilt drivstoff og i framtiden helt erstatte konvensjonelt fossilt Jet A-1 drivstoff. Det er i dag ingen flytekniske hindre for å ta i bruk biodrivstoff. To ulike måter å produsere Jet A-1 fra andre råstoff enn råolje (kull, gass, biomasse) er allerede teknologisert, og omfattende prøveflyvninger har blitt gjennomført. Fornybar Jet A-1 produseres imidlertid foreløpig kun i små volum til høye kostnader som del av forsøksprosjekter.

2.1 Bærekraft

En helt sentral forutsetning i prosjektet har vært at drivstoffet skal være bærekraftig. Det innebærer at følgende forhold må håndteres på en god måte:

- *Natur, miljø og klima:* Reduksjon av klimagassutslipp og lokal forurensning, hensyn til biologisk mangfold og økosystemtjenester, og et godt forvaltet jordbruk
- *Sosiale forhold:* Ivaretagelse av menneskerettigheter, arbeidsrettigheter, rettigheter til land, helse og matsikkerhet
- *Økonomiske forhold:* Bedriftsøkonomisk lønnsomhet, langsiktig økonomisk utvikling, nye arbeidsplasser, og en mest mulig optimal forvaltning av samfunnets ressurser

Dette prosjektet har lagt EUs bærekraftskriterier til grunn, som definert i Fornybardirektivet.⁹ Kriteriene gjelder også i Norge, og angir en rekke krav som et biodrivstoff må oppfylle for å regnes som bærekraftig.

Ettersom storskala produksjon og bruk av biomasse og biodrivstoff er i en tidlig fase, er det likevel usikkerhet knyttet til hvordan biodrivstoff påvirker forholdene over. Både regelverk og metoder for å beregne og håndtere dette er i utvikling. Uavklarte spørsmål omfatter blant annet arealbruksendringer, karbondjeld og tilbakebetalingstid, samt albedoeffekt¹⁰.

⁸ Avinor, Norwegian, NHO Luftfart, SAS og Widerøe: *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart* (2011), Rapport 2.

⁹ EUROPAPARLAMENTET OG DET EUROPEISKE RÅD. (2009). EU Direktiv 2009/28/EF, Fornybardirektivet.

¹⁰ Albedoeffekten forklarer hvordan klimaet på jorda blir påvirket ved at sollys blir mindre reflektert i mørke overflater (som havvann) enn i lyse overflater (som is og snø) (SNL).

Biodrivstoff kan produseres bærekraftig, men kan også produseres på måter som har negative virkninger på natur eller samfunn. Hele produksjonskjeden for biodrivstoff avgjør om drivstoffet er bærekraftig, og valg av råstoff har stor betydning.

Ettersom formålet med å produsere bærekraftig Jet A-1 er å redusere luftfartens utslipp av klimagasser, er klimaeffekten av drivstoffet spesielt viktig i dette prosjektet. Klimaeffekten har blitt analysert gjennom livsløpsvurderinger av de skisserte verdikjedene.

2.2 Hvor mye fornybar Jet A-1 – og hvor mye råstoff?

En flaskehals for produksjon av bærekraftig biodrivstoff vil være tilgangen på tilstrekkelige mengder av bærekraftig råstoff. Derfor vil det ikke være mulig, om enn ønskelig, å erstatte alt fossilt flydrivstoff med biodrivstoff med dagens teknologi og prosesser. Norsk luftfart har i første omgang en målsetning om å redusere klimagassutslippene med 15 % innen 2020-25 ved innblanding av biodrivstoff.

For å nå dette målet er det behov for om lag 190 - 250 mill. liter biodrivstoff.¹¹ Dette innebærer behov for råstoff med et energiinnhold på 6-8 TWh¹². Alt biologisk nedbrytbart materiale fra landbruk, skogbruk, fiske, avfall m.m. kan brukes som råstoff til biodrivstoff. Dersom råstoffet er norsk skog¹³ vil målsetningen eksempelvis innebære 2,7 – 3,6 mill. fastkubikkmeter.

Til sammenligning ville gjennomføring av tiltakene i transportsektoren fra Klimakur 2020¹⁴ som forutsatte bruk av biomasse fra skogen, øke etterspørselen med i underkant av 6,6 millioner fastkubikkmeter, eller i underkant av 14 TWh. I 2010 ble det brukt bioenergi i Norge tilsvarende 17 TWh totalt.¹⁵

I utredningen er det tatt utgangspunkt i et tenkt produksjonsanlegg som produserer tilsammen 50 millioner liter biodrivstoff per år. Produksjonen er optimalisert for mest mulig Jet A-1, men med biprodukter som kan brukes til andre formål i transportsektoren. Et slikt, tenkt anlegg ligger til grunn for beregningene som gjøres, og det kalles «*Biojet Norge AS*». Det vil være behov for 8-10 slike anlegg for å dekke en innblanding som kan bidra til 15 % reduksjon i klimagassutslipp fra norsk luftfart. I tillegg kommer reduserte utslipp i vegtransporten ved bruk av biodiesel fra de samme anleggene.

Denne utredningen søker å gi svar på tre grunnleggende spørsmål før «*Biojet Norge AS*» kan etableres.

1. *Hvilken teknologi og råstoff er egnet for norsk produksjon av fornybar Jet A-1 innen 2020-25?*
2. *I hvilken grad kan biodrivstoffet bli bærekraftig i forhold til natur og miljø, sosiale forhold og økonomi?*
3. *Kan det produseres konkurransedyktig slik at bærekraftig Jet A-1 bli etterspurt av luftfartsbransjen?*

3. TEKNOLOGI FOR PRODUKSJON AV FORNYBAR JET A-1

Bærekraftig eller fornybar Jet A-1 kan fremstilles på ulike måter, og baseres på flere ulike råstoff. Teknologien for å omdanne biologisk råstoff til drivstoff deles gjerne inn i tre hovedkategorier: Biokjemisk, termokjemisk og kjemisk, men kan også bestå av kombinasjoner av disse.

Figur 1 gir en overordnet fremstilling av mulige råstoff, hvordan disse kan forbehandles før de raffineres, prosesseres og etterbehandles til ulike sluttprodukter. Ulike teknologier og prosesser, samt optimalisering av disse, vil føre til større eller mindre andel av de ulike produktene. Noen anlegg er mer

¹¹ Følgende faktorer er brukt: Utslippsreduksjon på 60 - 80 % fra biodrivstoffet sammenlignet med fossilt, et forventet forbruk på ca. 1000 mill. liter flydrivstoff i Norge i 2020. Konverteringsgrad fra biomasse til drivstoff er satt til 14 % på massebasis. Konverteringsgrad kan være opp mot 25%, da vil råstoffbehov for å oppnå 15% klimaeffekt være lavere.

¹² Energiinnhold = 5 kWh/kg. En høyere konverteringsgrad, som kan være opp mot 25%, vil gi et lavere antall liter for å oppnå 15% klimaeffekt.

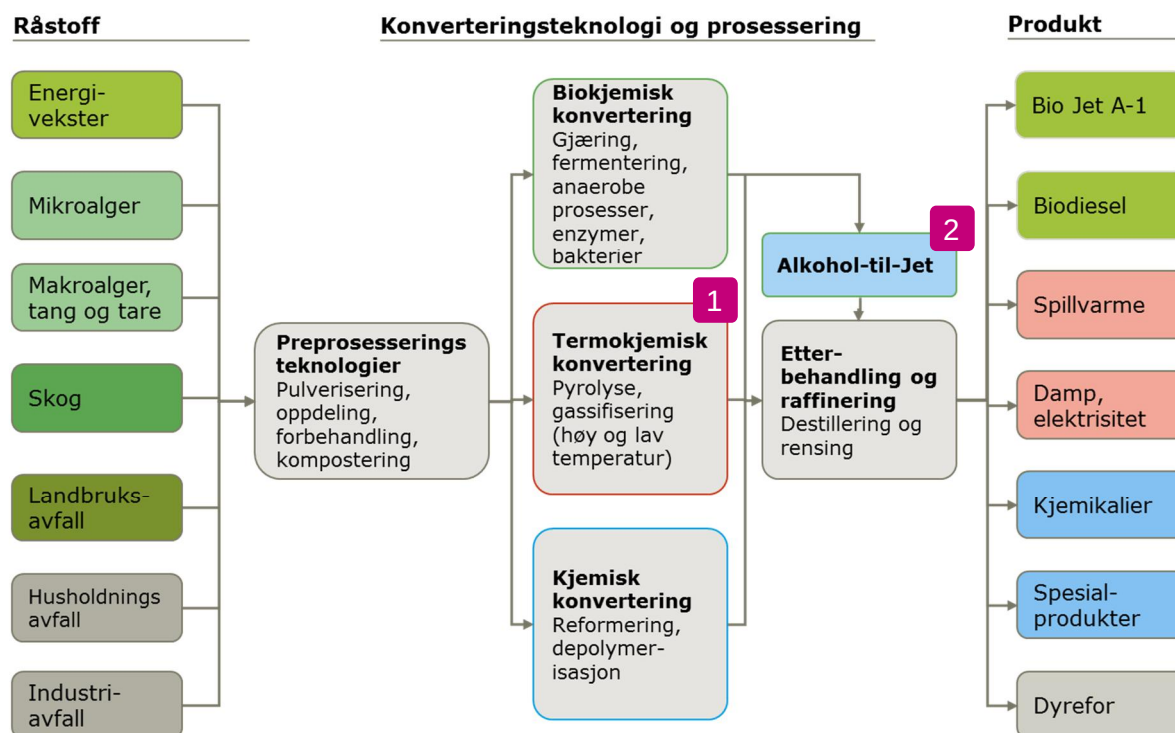
¹³ Biomasse med ca. 50 % fuktighet

¹⁴ F.eks. Biodiesel og bioetanol for landtransport, elektrifisering av biler og tog etc.

¹⁵ Trømborg, E., Bolkesjø, T. F., Bergseng, E., Rørstad, P. K., (2012). *Biomassetilgang fra landbaserte ressurser*, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap

fleksible enn andre og kan f.eks. produsere fornybar elektrisitet i større eller mindre grad hvis lønnsomheten for biodrivstoff er lav.

Figur 1 – Oversikt over råstoff, prosessering og sluttprodukter¹⁶



Hvilken omdanningsprosess og teknologi som er best egnet for *Biojet Norge AS* avhenger av verdikjeden det skal inngå i. Valg av råstoff, teknologiens modenhet og effektivitet, i tillegg til avsetningsmuligheter for biprodukter er avgjørende. I Norge er det mulig å etablere flere ulike verdikjeder for bærekraftig Jet A-1.

Sintef Energi har vurdert mulige teknologier for produksjon av fornybar Jet A-1 i 2020-25¹⁷. To ulike verdikjeder peker seg ut for produksjon i Norge: Termokjemiske prosesser (FT), og prosesser der bio-alkoholer etterbehandles (raffineres) til Jet A-1.

1) Termokjemisk prosessering og forgassing av biomasse fra skogbruket og skogsindustrien¹⁸ (FT Jet A-1¹⁹).

Dette er en termokjemisk produksjonsprosess hvor varme og katalysatorer brukes for å bryte opp hydrokarbonene i råstoffet, slik at de kan settes sammen i nye kjeder. Prosessen kalles Fischer-Tropsch (FT). De fleste leddene i prosessen er velkjent fra olje- og gassindustrien og Jet A-1 har blitt produsert fra kull med FT-prosessen siden 60-tallet. Teknologiens hovedutfordring er gassifisering av biomasse og rensing av gassen før syntesegassproduksjon. Denne produksjonsprosessen ble teknologisert for Jet A-1-produksjon i 2009. Verdikjeden for konverteringsteknologien vises med tallet 1 i Figur 1.

Prosessen kan benytte de fleste typer fossile og organiske materialer, og biomasse og avfall fra skogbruket og skogsindustrien er godt egnede råstoff.

Biprodukter fra denne prosessen vil være biodiesel, bionafta og ulike kjemikalier, i tillegg til varme.

¹⁶ Rambøll, Sintef Energy 2012

¹⁷ Sintef Energy(2012). *Benchmark of conversion and production technologies for synthetic biofuels for aviation*.

¹⁸ Med Skogindustri menes all industri med tømmer som råstoff, dvs trebearbeidende industri som sagbruk og høvlerier og all treforedlingsindustri som tremasse-, cellulose-, papir- og kartongfabrikker, samt noen industrigrener, bl.a. sponplate- og fiberplatefabrikker, som faller mellom de nevnte hovedkategoriene. (Store Norske Leksikon, 2013).

¹⁹ Fischer-tropsch synthetic paraffinic kerosene (FT-SPK)

2) Jet A-1 produsert fra fornybar annengenerasjons bioetanol (Alcohol-to-Jet, AtJ²⁰)

Dette er en prosess hvor bioalkoholer raffineres til Jet A-1. AtJ-prosessen omfatter med andre ord ikke produksjonen av selve alkoholen, men har alkohol som råstoff i prosessen. Verdikjeden for konverteringsteknologien vises med tallet 2 i Figur 1. Prosessen er foreløpig ikke teknologisert, men forventes å kunne bli sertifisert i løpet av 2013-2014. Alle trinnene i AtJ er kjent fra petrokjemisk industri, men er per i dag umodne for bio-alkoholer til Jet A-1.

Alkoholer kan produseres fra mange ulike råstoff, for eksempel lignocellulose i trær og energivekster, så vel som jordbruksavfall, men også mikroalger og nedbrytning av alginat fra tang og tare (makroalger).

Fordelene med denne verdikjeden er at det allerede produseres store mengder ulike typer bio-alkoholer. I Norge produserer for eksempel Borregaard biokjemisk mer enn 20 millioner liter bioetanol fra norsk skog i året. Norsk gran er en ressurs som er godt egnet til produksjon av annengenerasjons bioetanol.

Flere andre produksjonsteknologier har blitt vurdert, men anses som mindre relevante for *Biojet Norge* AS innen tidshorisonten 2020-25:

Termokjemisk (FT) prosessering av husholdnings-, treforedlings- og industriavfall med høytemperatur gassifisering er teknologisk mulig, og kan ha spesielt god miljøgevinst. Et slikt anlegg er under planlegging i London med forventet byggestart mot slutten av 2013²¹. I Norge er det imidlertid ikke tilstrekkelig tilgang på avfall, pga. høy grad av gjenvinning, og høy kapasitet i nyetablerte avfallsforbrenningsanlegg.

Lenger fram, etter 2025, kan *AtJ-prosessen basert på bioetanol fra tang og tare (makroalger)* være en mulighet for 3.-generasjons biodrivstoff. Det finnes gode dyrkingsforhold for bærekraftige makroalger langs norskekysten, og det pågår arbeid med å utvikle en verdikjede for industriell dyrking og høsting av makroalger.

Først etter 2030 antas *AtJ-prosessen basert på bioetanol fra norske mikroalger* å kunne være en realitet. Med utvalgte arktiske alger som vokser godt på våre breddegrader, i kombinasjon med spillvarme og CO₂ fra industriprosesser kan det også være grunnlag for mikroalgebasert drivstoffproduksjon i Norge.

Til tross for at HEFA-prosessen er teknologisert for produksjon av fornybar Jet A-1 ble *HEFA, hydrogenraffinert estere og fettsyrer*²², vurdert som *uegnet*. Utfordringen for en norsk verdikjede er tilgang til råstoff, som enten er oljevekster eller fettsyrer (for eksempel slakteavfall). Begge deler er det begrenset tilgang til i Norge, slik at produksjonsskjeden ville måtte baseres hovedsakelig på importert råstoff. Internasjonalt er slikt råstoff i liten grad bærekraftig (tradisjonelle oljevekster) og i tillegg har råstoffet høye kostnader (oljeholdige energivekster).

4. BÆREKRAFTIG RÅSTOFF TIL RIKTIG PRIS

Biomasse og råstoffpotensialet i Norge fram til 2020-25 har blitt kartlagt. Det er lagt vekt på landbaserte biomasseressurser, da dette er tilgjengelig i dag, men det er også sett på mulighetene for utnyttelse av marine ressurser med dyrking av mikro- og makroalger. Import av biomasse og halvfabrikata har blitt analysert for å identifisere mulighetene for et samspill mellom bruk av norske ressurser og import.

²⁰ Alcohol to Jet synthetic paraffinic kerosene (AtJ-SPK)

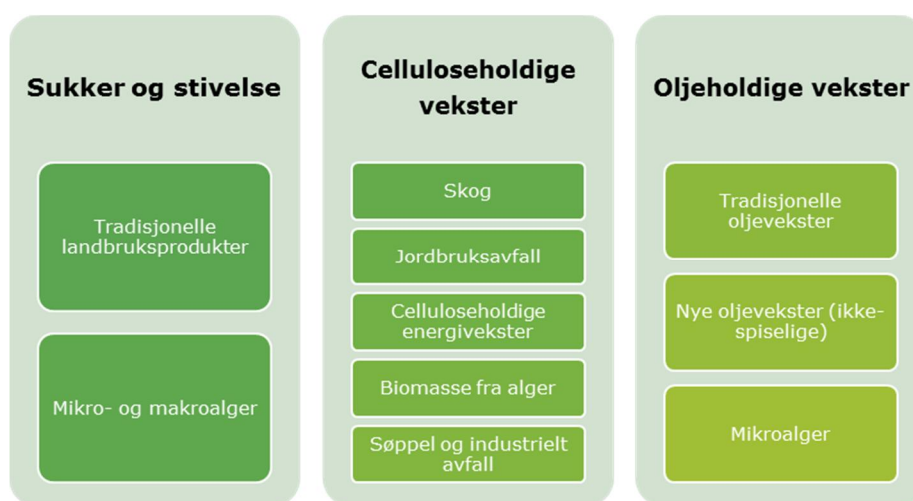
²¹ Solena Biofuels

²² HEFA-SPK, også referert til som Hydrotreated Renewable Jet (HRJ) eller Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

Det aller meste av biologisk materiale kan i teorien omdannes til en eller annen form for biodrivstoff. Teknologi for å omdanne sukker- og stivelsesholdige vekster til alkoholer har vært kjent i århundrer og vært i bruk til industriell produksjon svært lenge, mens teknologien for å konvertere ulike typer celluloseholdige vekster er av nyere dato. Den teknologiske utviklingen muliggjør bruk av råstoff som tidligere ikke var anvendelige.

Figur 2 viser hovedkategorier råstoff som kan brukes i biodrivstoffproduksjon. Biodrivstoff omtales ofte som ulike generasjoner, der førstegenerasjons drivstoff utgjør den største andelen av produksjonen til nå. Den er hovedsakelig laget av tradisjonelle jordbruksprodukter som er sukker- og stivelsesholdige eller oljeholdige. Biodrivstoff som er basert på cellulose, slik som i trevirke, omtales normalt som andregenerasjons drivstoff. Det er en forutsetning at drivstoffet som «Biojet Norge AS» (et tenkt norsk produksjonsanlegg) produserer skal være bærekraftig, og derfor har det i dette prosjektet ikke vært aktuelt å produsere førstegenerasjons drivstoff eller bruke råstoff som kan fortrenge produksjon av mat eller fôr til husdyr.

Figur 2 – Kategorier råstoff til biodrivstoffproduksjon²³



I tillegg til at råstoffet må være bærekraftig må det også være egnet for valgt produksjonsteknologi, og det må være sikkerhet for langsiktig forsyning av råstoffet til en akseptabel pris. Generelle rammevilkår som bidrar til å støtte (eller begrense) bruken av enkelte råstoff har også betydning.

4.1 Råstoff fra skog

Potensialet for uttak av bærekraftig, landbasert biomasse i Norge har blitt analysert av Universitetet for Miljø og Biovitenskap (UMB).²⁴ Biomasseressursene kan være fra produktiv skog, eller annen trebasert biomasse, biomasse fra jordbruksarealer og fra avfall. UMB vurderer det slik at biomasse fra skog er det viktigste landbaserte, norske råstoffet for produksjon av biodrivstoff, også for biodrivstoff til luftfart i Norge, fram til 2020-25.

Figur 3 viser kategorier skogressurser, etter kvalitet og bruksområde. De skraverte feltene er de beste kvalitetene tømmer, og brukes ikke til energiformål. Potensielle skogressurser til bruk for biodrivstoffproduksjon omfatter massevirke og hogstavfall, slik som greiner og topper (GROT), stubber og røtter.

²³ Rambøll, Sintef Energy (2012)

²⁴ Trømborg, E., Bolkesjø, T. F., Bergseng, E., Rørstad, P. K., (2012). *Biomassetilgang fra landbaserte ressurser*, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap

Figur 3 - Skogressurser - Kategorier og bruksområder

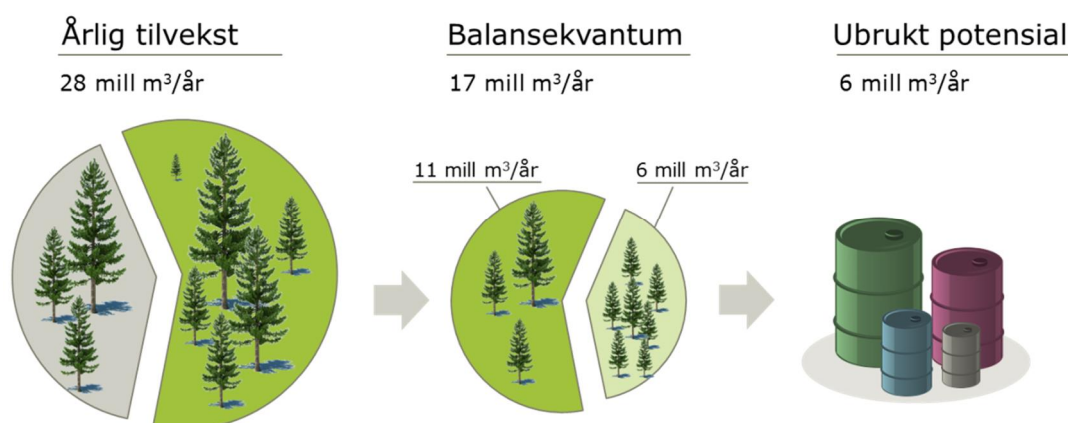


I dag blir om lag halvparten av biomassen fra et tre tatt ut av skogen ved tømmerhogst, og det som ligger igjen er omtrent likt fordelt mellom stubber og røtter, og GROT. En del av dette kan brukes til energiformål, men utnyttelsen i Norge er i dag liten selv om bruken er økende. Uttak av stubber og røtter er i dag ikke aktuelt i Norge på grunn av miljøhensyn og høye kostnader.

Det er heller ikke økonomisk lønnsomt å høste alt hogstavfallet på ei hogstflate. Normalt hentes 60 – 80 % av biomassen ut. I tillegg vil det av hensyn til miljø og tilførsel av næringsstoffer ikke være aktuelt å ta ut alt hogstavfall på hele hogstarealet. Det bærekraftige potensialet vil derfor være betydelig lavere, anslagsvis 50-60 % av det teoretiske potensialet. Potensialet for GROT til energiformål bestemmes i stor grad av avvirkningsnivået og etterspørsel i tillegg til pris på rundvirke ettersom GROT er et biprodukt fra hogsten.²⁵

Figur 4 illustrerer forholdet mellom den årlige tilveksten i norske skoger i dag, hvor mye biomasse som tas ut, og den gjenværende mengden. Den årlige tilveksten i norske skoger basert på tall fra 2012 er på 28 mill. fastkubikkmeter. Av dette utgjør 17 mill. fastkubikkmeter såkalt «nasjonalt balansekvantum», det vil si den mengden tømmer som kan tas ut hvert år uten å måtte redusere uttaket på noe tidspunkt senere²⁶. Til sammenligning er den totale avvirkningen i Norge i dag på omlag 11 mill. fastkubikkmeter per år. Dette innebærer en teoretisk mulighet for å hente ut 6 mill. fastkubikkmeter mer enn i dag uten å gå utover balansekvantumet.

Figur 4 – Årlig tilvekst, balansekvantum og teoretisk potensial for økt uttak i 2012



Hvor mye som blir tilgjengelig til energiformål påvirkes først og fremst av markedsprisene for tømmer og energi samt driftskostnadene i skogbruket. UMB har beregnet det samlede potensialet for økt uttak av biomasse fra skogen de kommende tiårene ved to ulike scenarier. I begge scenariene forutsettes tømmerretterspørselen fra skogsindustrien å være på samme nivå som i dag.

²⁵ Trømborg, E., Bolkesjø, T. F., Bergseng, E., Rørstad, P. K., (2012). *Biomassetilgang fra landbaserte ressurser*, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap

²⁶ I denne størrelsen er det lagt inn nasjonale miljørestriksjoner for skogvern og Levende Skog standardene, det vil si at det tas hensyn til vernede arealer og bærekraftig skogsdrift med hensyn på næringsstoffer

- Dersom avvirkningsnivået i 2025 antas å være som i dag er potensialet i overkant av 7 TWh/år. Dette vil i hovedsak bestå av hogstavfall som i dag ikke hentes ut. Dersom alt dette brukes til å produsere Jet A-1 vil det gi om lag 230 mill. liter, i tillegg til om lag 50 mill. liter nafta og 50 mill. liter biodiesel som kan brukes som biodrivstoff i vegsektoren, samt mindre mengder av en del andre biprodukter.
- Dersom avvirkningen øker til *balansekvantum* vil det totale potensialet være i overkant av 16 TWh/år i 2025. Av dette vil i overkant av en tredjedel være massevirke, og resten hogstavfall. Dette er tilstrekkelig for å produsere om lag 520 mill. liter fornybar Jet A-1.

Ut i fra markedsf forholdene er potensialet estimert til å ligge mellom 3,5 TWh, ved en flispris på 18 øre/kWh, og 9 TWh ved 24 øre/kWh. UMB vurderer det imidlertid slik at det er lite sannsynlig at avvirkningen vil øke dramatisk, men at den vil ligge langt under nivået for balansekvantum frem til 2025. Det mest realistiske nivået, ved etablering av mange mindre biodrivstoffanlegg, er derfor maksimalt 7 TWh ved å utnytte hogstavfall som ikke benyttes fra dagens uttak. Ved større anlegg må også massevirke benyttes for å unngå for høye transportkostnader. Et større biodrivstoffanlegg vil delvis konkurrere med treforedling om massevirket, evt. erstatte etterspørselen som nedlagte anlegg etterlater seg.

Dagens biomassepris på i underkant av 20 øre/kWh er et sannsynlig prisnivå for *Biojet Norge AS* også i 2020-25, dersom produksjonen baseres på en blanding av treslag og flis fra hogstavfall.

Biomasse fra skog er nøkkelen til mer bioenergi og mer biodrivstoff i transportsektoren. Det er en politisk målsetning i Norge å øke bruken av bioenergi, samt å bidra til å utvikle annengenerasjons biodrivstoffproduksjon. Derfor er det grunn til å tro at det ikke vil bli lagt restriksjoner på bruk av norsk skogsråstoff til biodrivstoffproduksjon, gitt at det oppfyller gjeldende bærekraftskriterier. Biomasse fra skog er en bærekraftig ressurs dersom det avvirkes og brukes på en effektiv måte, som del av en helhetlig skogforvaltning. Økt bruk av tre som byggemateriale kan både erstatte mer karbonintensive byggematerialer og være en form for karbonlagring i langlivede konstruksjoner og treprodukter. Lavere kvaliteter og hogstavfall kan gå til energi- og drivstoffproduksjon.

4.2 Marint råstoff

Fornybar Jet A-1 og andre typer biodrivstoff kan produseres fra organismer som lever i ferskvann og saltvann. Dette omfatter tang og tare (makroalger), mikroalger, og avfall fra fiskeri- og havbruksnæringen. DNV KEMA og Rambøll har kartlagt mulighetene for å benytte marint råstoff til biodrivstoffproduksjon.

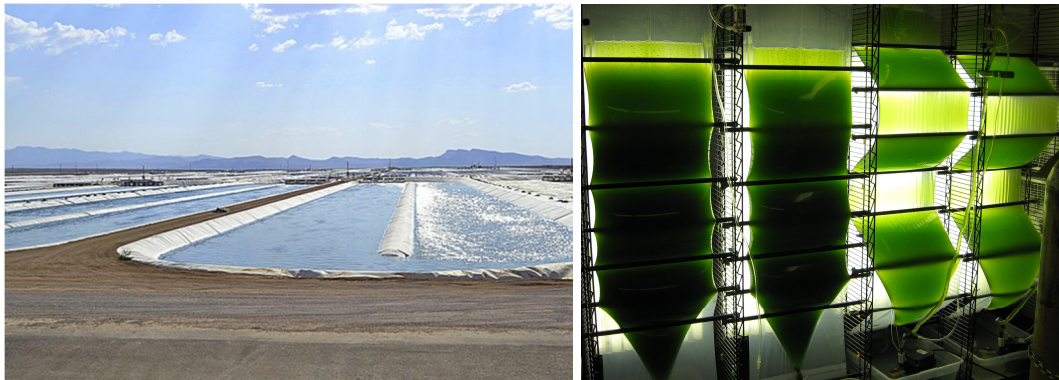
Det er stor interesse for alger som råstoff til biodrivstoffproduksjon, fordi alger har egenskaper som gjør at det kan produseres store volum råstoff med lav risiko for negative effekter på miljø og sosiale forhold:

- Alger konkurrerer ikke med tradisjonelle matvekster, heller ikke om landbruksarealene
- Alger konverterer solenergi og karbondioksid til biomasse raskt, forutsatt bærekraftig tilgang på næringsstoffer
- Alger produserer i mange tilfeller mer biomasse per areal og volum enn landbaserte planter
- Mange typer alger kan vokse i saltvann, brakkevann og forurenset vann og legger i de fleste tilfeller mindre press på ferskvann enn andre biomasseressurser
- Alger og mikroorganismer kan benytte CO₂-utslipp fra industrien
- Produkter og kjemikalier fra alger kan ha mange bruksområder og benyttes til høyverdige produkter som protein til dyrefôr, spesialkjemikalier som Omega-3 og farmasøytiske kjemikalier

Mikroalger kan gi høy biomasseproduktivitet og kan dyrkes i åpne dammer eller i lukkede systemer (fotobioreaktorer). Det eksisterer mange tusen ulike typer alger som krever ulike vekstforhold. De typer mikroalger som benyttes i kommersiell produksjon i dag er optimalisert for å vokse i områder med mildt klima og mye sol. Mikroalger produseres både i reaktorer og i åpne systemer, men produksjonen er kun lønnsom når algeoljer produseres for videreforedling til spesialkjemikalier med høy salgspris. Forskere og entreprenører har i flere tiår forsøkt å realisere det store teoretiske potensialet alger har, men med blandet resultat for biodrivstoff. Det er i midlertid en rask teknologiutvikling, med mer enn 150 selskap og 60 laboratorium og forskningscentre internasjonalt som utvikler alger for ulike

formål. Satsningene tyder på betydelig optimisme i bransjen, og en rekke algeanlegg internasjonalt er varslet å starte opp i 2013.

Figur 5 – Produksjon av mikroalger i åpne og lukkede systemer, © Sapphire Energy, New Mexico, USA, & Biopharmia, Kjeller



Det forskes i dag på å identifisere egnede mikroalger som passer til norske forhold. Klima og begrenset tilgang på store, flate arealer gjør at produksjon i åpne dammer er mindre egnet i Norge. Fotobioreaktorer er den mest aktuelle produksjonsmetoden. En hovedutfordring er tilgang på nok næringsstoffer. I Norge er det mye spillvarme og CO₂-holdig avgass fra industrianlegg nær kysten, som kan brukes til mikroalgeproduksjon. I lukkede anlegg kan næringsstoffene som tilsettes komme fra kloakk og avløpsvann, eller som avfallsprodukter fra enkelte typer industri. Utvinning av næringsstoffer fra bergarter og mineraler kan også være en mulighet for bærekraftig tilgang på næringsstoffer.

I dagens marked er imidlertid prisen for flydrivstoff lavere enn for alternative produkter som algene kan brukes til. I prosjektets delrapport om marine ressurser er DNV KEMA av den oppfatning at det vil bli produsert lite eller ingen biomasse eller olje fra mikroalger til drivstoffproduksjon i Norge innen 2025-30.²⁷

Makroalger (tang og tare) har også høy biomasseproduktivitet og høstes i dag til blant annet alginatproduksjon og mat. Makroalger er et viktig akvakulturprodukt globalt, spesielt i form av taredyrking i Kina. Selve algebiomassen kan også utnyttes til biodrivstoff og en rekke andre formål.²⁸ Storskala dyrking av makroalger i havet kan ha noen av de samme bærekraftutfordringene som dyrking av landbruksvekster, spesielt knyttet til biodiversitet.

I Norge høstes i dag viltvoksende makroalger for alginatproduksjon. Forholdene langs kysten egner seg godt for dyrking av lokale arter tang og tare. Som for mikroalger er det imidlertid flere problemstillinger langs produksjonskjeden som må løses før makroalger kan dyrkes, høstes og videreforedles i industriell skala. Biodrivstoffaktørene i Norge involvert i makroalgeproduksjon fokuserer på å produsere etanol fra sukkerholdige makroalger. Etanol er derfor den mest sannsynlige energibæreren fra makroalger i første omgang. Ifølge aktører i Norge er det tidligst mulig med etanolproduksjon basert på tang og tare i 2020. Selv om det i fremtiden er et potensial for makroalgeindustri i Norge, mener DNV KEMA at det er lite sannsynlig at makroalger blir et råstoff i kommersielt flydrivstoff innen 2025-30.

Utviklingen av fiskeoppdrett i Norge de siste 30-40 årene kan gi en pekepinn på hvordan makroalgeindustrien kan utvikles. Foruten gode naturgitte forhold har vi et godt utviklet regelverk og forvaltningskompetanse knyttet til akvakultur, som vil være relevant for storskala makroalgedyrking.

Både mikro- og makroalger har blitt foredlet til biodrivstoff og det har også vært gjennomført testflygninger med biodrivstoff fra mikroalger. Algeindustrien er i startgroen når det gjelder storskala produksjon og fokuserer i dag på spesialprodukter i små mengder, sammenlignet med de store volumene som er nødvendig for biodrivstoffproduksjon. En hovedutfordring for produksjon av biodrivstoff fra alger er energiregnskapet. Flere av prosessene for produksjon av algeoljer til biodrivstoff bruker i dag mer energi i prosessen og raffineringen enn det som biodrivstoffet inneholder.

²⁷ DNV KEMA (2012), *Marine Resources for Biofuel Production*

²⁸ Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative (CAAFI) (2011). *Path to Alternative Jet Fuel Readiness*

Avfall fra fiskeri- og havbruksnæringen utgjør et betydelig volum hvert år og utgjorde 815.000 tonn i 2011. Hoveddelen av dette (76 % i 2011) blir utnyttet til andre formål slik som fiskefôr og -olje. Det resterende volumet dumpes i dag til havs. Omlag halvparten av dette består av torskebein, som inneholder mineraler og stoffer som gjør det uegnet til biodrivstoff. Det er derfor lite å hente av råstoff fra fiskeriene til biodrivstoffproduksjon.²⁹

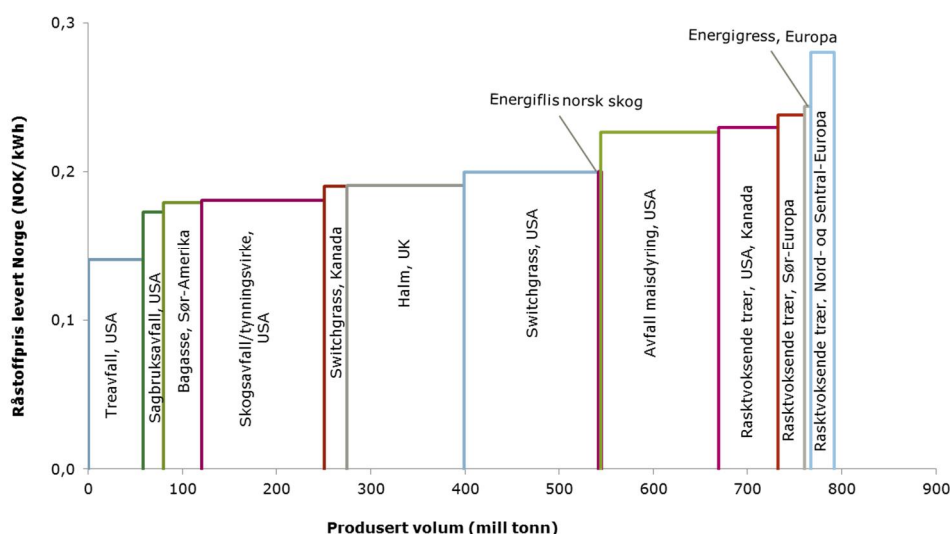
Frem til alger blir produsert i et større volum vil biomasse fra skog i Norge være det viktigste råstoffet for *Biojet Norge AS*. I tillegg er det store muligheter for supplerende import av råstoff.

4.3 Import av råstoff og halvfabrikater

LMC International har vurdert pris og tilgang på mulige, bærekraftige råstoff for import til *Biojet Norge AS* i 2020-25.³⁰ Deres vurdering er at det vil produseres betydelige mengder bærekraftig og egnet råstoff internasjonalt i 2020, og det til meget konkurransedyktige priser selv når transport til Norge er inkludert. Hvorvidt de faktisk blir tilgjengelige avhenger av at det utvikles logistikk-kjeder lokalt for innsamling og komprimering. IEA slår også fast at Norden vil bli en netto importør av biomasse, som den største energibæreren, fram mot 2030 og 2050.³¹

I Figur 6 viser y-aksen estimerte priser (kr/kWh) på utvalgte, bærekraftige råstoff for import i 2020-25, inkludert transportkostnad til Norge. Hver kolonne representerer ett råstoff, og bredden på hver råstoffkolonne indikerer antatt produksjonsvolum³². Til sammenligning er energiflis fra norsk skog, et volum på ca. 1,2 mill. tonn til en pris på 20 øre/kWh, satt inn, som er et sannsynlig prisnivå i 2020-25.

Figur 6 – Importråstoff - priser og produksjonsvolum 2020-25³³



Figuren viser at dersom *Biojet Norge AS* velger den termokjemiske produksjonsprosessen vil pellets og trefflis fra trebasert avfall i USA ha de mest konkurransedyktige prisene, og være rimeligere enn jordbruksavfall og energiekster.

Vegetabiliske, ikke-spiselige oljer er ikke et relevant råstoff på grunn av høye kostnader. Matoljer er sett bort fra av bærekrafthensyn. LMC International vurderer det slik at det i økende grad vil komme bio-alkoholer (bio-butanol og cellulosebasert etanol) på det internasjonale markedet fremover mot 2020. Dersom *Biojet Norge AS* velger Alcohol-to Jet-prosessen antas det også å være bærekraftig bio-alkohol tilgjengelig for import.

²⁹ DNV KEMA (2012), *Marine Resources for Biofuel Production*

³⁰ LMC International (2012). *Sustainable aviation biofuels in Norway*

³¹ IEA, *Nordic Energy Technology Perspectives, Pathways to a Carbon Neutral Energy Future* (2013)

³² Millioner tonn, tørket og komprimert, ca. 8 % fuktighet.

³³ LMC International (2012)

4.4 Bærekraftig råstoff i fremtiden

Tilgangen på bærekraftige ressurser vil endre seg over tid. *Teknologisk utvikling* vil gi mer effektive konverteringsprosesser som gir større utbytte og høyere klimagevinst per liter bærekraftig Jet A-1, og gjøre det mulig å bruke andre råstoff enn i dag. *Økt kunnskap* vil gi bedre metoder for å vurdere, dokumentere og spore bærekraftig råstoff. *Regelverksendringer* vil begrense bruk av råstoff som ikke er bærekraftig, og tilgangen til sertifisert råstoff vil bli en faktor som bestemmer potensialet. *Forbedringer og effektivisering i land- og skogbruk*, nye avlinger og nye kultiverte planter vil kunne gi større utbytte og nye typer råstoff. På lenger sikt vil også *klimaendringene* føre til endrede vekstforhold. Mer ekstremvær vil kunne ramme produksjonen både i skog- og jordbruket. Endrede *markedsforhold* kan gjøre tilgjengelig råstoff som tidligere ble brukt i andre sektorer.

Dersom disse forholdene spiller sammen på en god måte kan det gi økt tilbud av bærekraftige ressurser i 2020-25. En effektiv utnyttelse av ressursene er uansett nødvendig for å sikre bærekraft og størst mulig klimateffekt av drivstoffet. I hvilken grad bærekraftskriteriene oppfylles må kartlegges for hver enkelt verdikjede.

Hvorvidt importråstoff blir viktig for *Biojet Norge AS*, eller hvorvidt produksjonen skal baseres på norsk skogråstoff har stor betydning for hvor produksjonsanlegget kan lokaliseres.

5. LOKALISERING AV «BIOJET NORGE AS»

Utredningen har også vurdert mulige lokaliseringalternativer for det tenkte produksjonsanlegget, *Biojet Norge AS*. Gunstig lokalisering er viktig for lønnsom og bærekraftig produksjon. Analyse & Strategi har identifisert mulige lokaliseringalternativer og tilhørende logistikk-løsninger og -kostnader.³⁴

Stedene er valgt basert på definerte lokaliseringskriterier, blant annet:

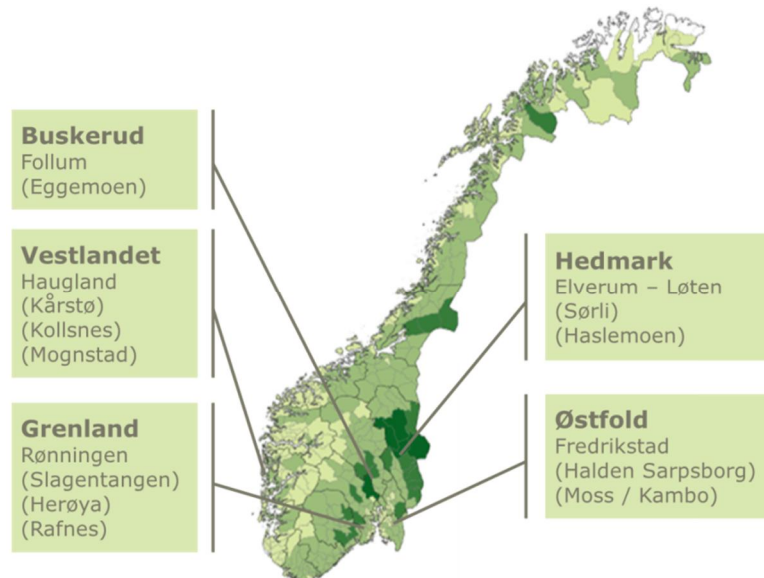
- Produksjonsteknologi
- Type råstoff og avstand til råstoffkilden
- Leveringssted for Jet A-1
- Biproduktenes markeder
- Potensielle synergieffekter ved samlokalisering med annen næring og industri
- Arealstørrelse og regulering
- Transportinfrastruktur

Dersom *Biojet Norge AS* velger en termokjemisk prosess vil nærheten til et større treforedlingsanlegg med restavfall fra norske skogressurser være svært viktig. Et anlegg der en stor andel av råstoffet importeres bør derimot legges ved en havn. God robusthet og fleksibilitet tilsier at anlegg bør ha enten havn, jernbane eller arealer som tillater store sikkerhetslager for råstoff ved anlegget. Lokalisering nær en avtaker av spillvarme vil ha kommersielt potensiale som kan forsvare at anlegget legges noe lengre unna råvarekilden.

Et strukturert søk ga fem relevante områder (se figur 7) som deretter ble vurdert i detalj. Det resulterte i noen utvalgte steder tilpasset hver av de to produksjonsprosessene.

³⁴ Analyse & Strategi (2012). *Bærekraftig biodrivstoff til sivil luftfart i Norge: Delutredning 3, Lokalisering av prosessanlegg for produksjon av biodrivstoff, inklusive logistikkanalyse*

Figur 7 – Søkeområder for mulighetsstudie for etablering av produksjonsanlegg³⁵



Analyse & Strategi har beregnet tilhørende logistikk-kostnader. Logistikk-kostnadene utgjør en liten del³⁶ av de totale produksjonskostnadene dersom anlegget plasseres i anbefalte områder.

Lokaliseringsstudien er kun en mulighetsstudie og videre detaljerte analyser må utføres for å identifisere de mest egnede lokalitetene for en norsk verdikjede. Teknologi og råstoff betyr mest for valg av lokalisering.

6. PRODUKSJONSKOSTNADER

For å vurdere om det er grunnlag for bedriftsøkonomisk lønnsom produksjon av bærekraftig Jet A-1 i Norge er det estimert produksjonskostnader for prosjektets fiktive anlegg, *Biojet Norge AS*. Dette er håndtert ved å regne inn avkastningskrav for investeringskostnaden og vurdere totale kostnader per liter produsert opp mot markedspriser på fossil Jet A-1. Lønnsomhet defineres her som punktet hvor antatt markedspris på fossilt flydrivstoff, dvs. Jet A-1, overstiger kostnaden per liter produsert flydrivstoff basert på biomasse (NOK/liter).

Den teknologiske utviklingen av produksjonsprosessene, som foreløpig er umodne, er en nøkkelfaktor for lønnsomheten til *Biojet Norge AS*. Teknologisk læring og kostnadsreduksjoner skjer spesielt gjennom forskning og demonstrasjon, i forbindelse med bruk og tilpassing av teknologien, ved interaksjon mellom ulike aktører i verdikjeden, og gjennom storskalafordele i form av anleggets størrelse og antall anlegg³⁷. Utviklingen mot kommersielt konkurransedyktig og bærekraftig Jet A-1 vil gå fra dagens pilot- og demonstrasjonsanlegg, mot fullskala anlegg med synkende produksjonskostnad per liter (såkalte læringsrater)³⁸.

Eksterne rammebetingelser, slik som støtteordninger og insentiver som bidrar til å senke investeringskostnader, vil ha betydning for å senke produksjonskostnadene for *Biojet Norge AS*. Dette vil bli aller viktigst risiko i perioden frem til teknologien er kommersielt modnet. Forhold som påvirker prisnivået på fossilt Jet A-1, slik som oljepris og CO₂- og NO_x-avgifter, har selvfølgelig stor betydning for anleggets konkurranseevne.

Literprisen på fornybar Jet A-1 fra en termokjemisk prosess (FT) er beregnet som produksjonskostnad per liter både med og uten estimerte inntekter fra salg av biprodukter. Produksjonskostnader er definert som investeringskostnader og driftskostnader. For å sammenlikne med markedspriser for fossil Jet A-1 er kostnadene fordelt på antall liter som produseres av fornybar Jet A-1 i anlegget. Når salg av

³⁵ Analyse & Strategi (2012), Rambøll

³⁶ Transport av massevirke levert *Biojet Norge AS* og transport fra anlegget til Gardermoen utgjør ca. 5 % av de totale produksjonskostnadene

³⁷ Intergovernmental Panel on Climate Change (2011). Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation

³⁸ Teorien om læringsrater er nærmere beskrevet i Rambølls hovedrapport.

biprodukter medregnes er salgsinntektene også fordelt på produsert antall liter Jet A-1. Salg av biprodukter er ikke inkludert for AtJ-prosessen pga. mangel på data (se for øvrig 6.2).

Produksjonskostnadene bygger på rapportens delutredninger med priser på råstoff³⁹, logistikk-kostnader⁴⁰ og produksjonsteknologi⁴¹ i tillegg til supplerende litteraturstudier utført av Rambøll⁴². Produksjonsanlegget er ikke plassert geografisk, men er antatt å ville ligge innen anbefalte områder (se kap. 5).

Ettersom teknologiene foreløpig er umodne finnes det lite tilgjengelig data på detaljert nivå. En hovedutfordring er knyttet til konverteringsfaktorer, dvs. hvor stor andel av råstoffet som ender opp som Jet A-1 eller som andre biprodukter. Rambølls undersøkelser viser et relativt stort intervall for antall liter Jet A-1 per liter eller kg råstoff. Valg av konverteringsfaktor gir store utslag på beregningene. Det er også stor usikkerhet knyttet til kostnadsdata. Det eksisterer i dag få demonstrasjonsanlegg for fornybar Jet A-1 og derfor lite informasjon om både investeringskostnader og driftskostnader. Tall fra eksisterende anlegg er gjerne konfidensielle av konkurransehensyn. Forutsetningene for disse vil gi store utslag i beregningene og resultatene som presenteres.

Det er også stor usikkerhet knyttet til fremtidige markedspriser på Jet A-1. Dette vil avhenge av utviklingen innen norsk og internasjonal klima- og energipolitikk, og etterspørselen etter konvensjonelt drivstoff i fremtiden.

Med utgangspunkt i de ovennevnte forholdene vil tallene som presenteres videre være heftet med stor usikkerhet. En usikkerhetsfaktor på 50 % bør derfor legges til grunn på dette stadiet. Det er ikke inkludert noen form for usikkerhet i estimatene, men utfallsrommet beskrives ved hjelp av scenarier.

I beregningene er det lagt til grunn et avkastningskrav på 7 % reelt før skatt, og at anlegget har en levetid på 30 år. Alle tallene som presenteres er i norske 2012-kroner. Reelle tall er benyttet for lettere å kunne sammenlikne kostnadsutviklingen fremover slik at utviklingstrekkene kan leses rett ut av grafer og tabeller.

6.1 Termokjemisk prosessering og forgassing av biomasse fra skogbruket og skogsindustrien (Fischer Tropsch, FT)

Biojet Norge AS sitt FT-anlegg vil produsere 50 mill. liter, hvorav 27 mill. liter Jet A-1, i tillegg til 12 mill. liter biodiesel og 11 mill. liter nafta som biprodukter. Anlegget vil også gi betydelige mengder overskuddsvarme.

I Tabell 6.1 vises noen innsatsfaktorer som er lagt til grunn for å beregne produksjonskostnadene for Jet A-1 fra Fisher Tropsch-prosessen.

Tabell 6.1 – Innsatsfaktorer for beregning av produksjonskostnader for Jet A-1 fra en valgt FT-prosess (2012-kroner)

Kostnader og behov	2012-kroner	
Investeringskostnader	5	NOK pr liter Jet A-1
Andre driftskostnader	2	NOK pr liter Jet A-1
Råstoffkostnad	1	Kr pr. kg tørrstoff
Råstoffbehov	9	Kg. tørrstoff pr liter Jet A-1

Dersom FT-anlegget hadde vært i drift i 2012 er dagens produksjonskostnader for Jet A-1 uten salg av biprodukter estimert til 16 NOK/liter. Når antatt salg av biproduktene medregnes er literprisen for Jet A-1 fra FT-anlegget i 2012 estimert til om lag 11 NOK/liter. Til sammenligning er dagens markedspriser for (fossil) Jet A-1 om lag 6 NOK/liter.

Salg av biproduktene som dannes i FT-prosessen vil gi inntekter som i vist i Tabell 6.2.

³⁹ Trømborg et al. (2012) og LMC International (2012)

⁴⁰ Analyse & Strategi (2012)

⁴¹ Sintef Energy (2012)

⁴² Detaljerte kildehenvisninger er angitt i hovedrapporten.

Tabell 6.2 – Inputfaktorer for beregning av salgsinntekt fra biprodukter⁴³, (2012-kroner)

Produkt	Markedspris	Volum	Inntekt
Biodiesel	9 NOK/liter	12 mill. l	108 mill. NOK
Nafta	3 NOK/liter	11 mill. l	33 mill. NOK

Investeringskostnadene og råstoffkostnadene utgjør nærmere 90 % av de totale produksjonskostnadene. En vesentlig reduksjon av disse er nødvendig dersom produksjonen av drivstoffet i fremtiden skal kunne bli bedriftsøkonomisk lønnsomt. Det skisserte anlegget har en estimert investeringskostnad på 1,7 mrd. NOK (± 50 % usikkerhet).

For å estimere den fremtidige utviklingen av produksjonskostnader er det lagt til grunn tre utviklingsscenarier frem mot 2030; *Basis*, *Optimistisk* og *Pessimistisk*. Framskrivningene er basert på læringskurver for utvikling av umodne produksjonsteknologier innen fornybar energi. Grunnlaget for dette er nærmere beskrevet i hovedrapporten. Framskrivningene er foretatt frem til 2030 for å bedre illustrere krysningspunktene i 2025. I basis-scenariet er det forutsatt en reduksjon på 40 % av investeringskostnadene for fornybar Jet A-1 i 2030 sammenliknet med 2012, mens det optimistiske scenarioet forutsetter 50 %, og det pessimistiske scenarioet forutsetter en reduksjon på 30 %.

Råstoffbehovet antas i basis-scenariet å bli redusert fra 9 kg/liter til 6 kg/liter frem mot 2030, og til 5 kg/liter i det optimistiske og 7 kg/liter i det pessimistiske scenariet. Det er forutsatt at inntekter fra salg av biprodukter holdes konstant i alle scenariene. Dette gir en literpris på Jet A-1 fra en termokjemisk prosess i basis-scenariet på ca. 7 NOK/liter 2025.

Figur 8 viser de tre utviklingsscenariene for literprisen fra et tenkt etablert anlegg i dag og frem til 2030. I figuren sammenholdes scenariene med forventet prisutvikling for fossilt Jet A-1 (blå linje)⁴⁴. Denne utviklingen følger Det internasjonale energibyråets referansescenario for utviklingen av råoljeprisen⁴⁵. Den grønne linjen viser den totale markedsprisen for Jet A-1 når forventede fremtidige karbonkostnader på fossilt drivstoff inkluderes. Karbonkostnadene er hentet fra prognosene til UK Department of Energy & Climate Change (2010). Den grønne, tykke linjen er trendlinjen for utvikling av literprisen for Jet A-1 fra FT-anlegget, altså produksjonskostnader fratrukket salgsinntekt fra biprodukter (f.eks. biodiesel, nafta, varme)⁴⁶. Alle tallene i figuren er justert til norske 2012-kroner.

Figuren indikerer at *Biojet Norge AS* kan oppnå lønnsomhet før 2025. Basis-scenariet er kommentert over. I det optimistiske scenariet ser det kommersielle gjennombruddet ut til å komme allerede i 2021. Da er produksjonskostnadene estimert til å være på samme nivå som markedsprisen inkl. karbonkostnader for fossil Jet A-1 dvs. ca. 7 NOK/liter. Hvis det pessimistiske scenariet legges til grunn vil literprisen være på nivå med markedsprisen for Jet A-1 i år 2026 (ca. 8 NOK/liter).

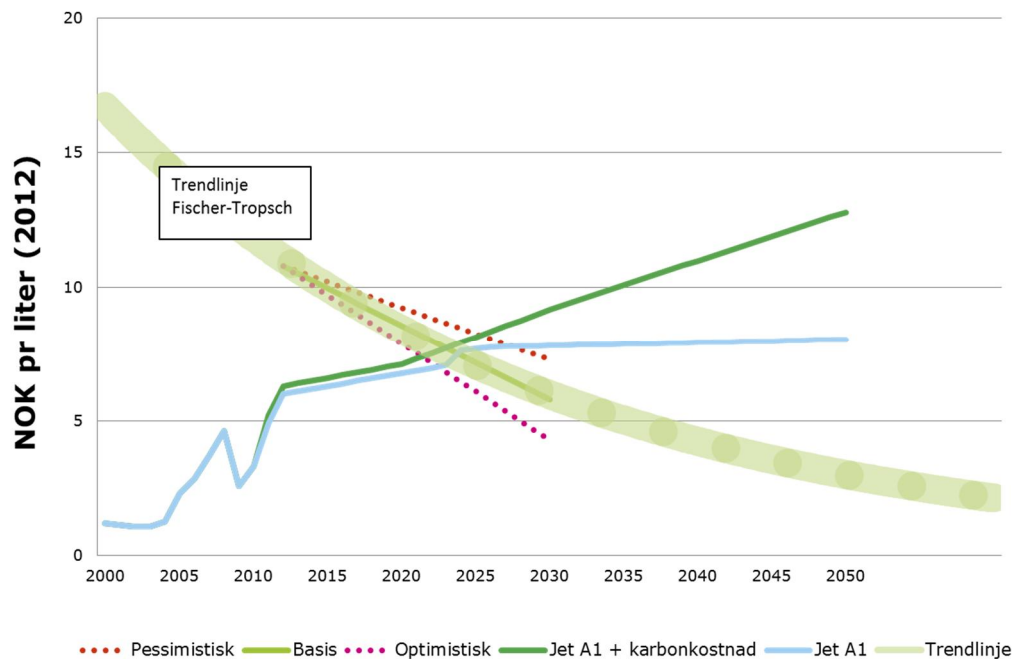
⁴³ Markedspriser er basert på World Oil Outlook 2012 (OPEC 2012).

⁴⁴ Macfarlane, R.; Mazza, P., Allan (2011)

⁴⁵ International Energy Agency (2012), *World Energy Outlook 2012*

⁴⁶ Trendlinjen er basert på beregningstall fra 2012, og historikk og framskrivninger er en eksponentiell funksjon basert på læringskurver for etablering av nye teknologiske anlegg.

Figur 8 – Prisutvikling og lønnsomhet for FT-syntetisert Jet A-1 2012-2030, inkl. salg av biprodukter (Alle priser i norske 2012-kroner)⁴⁷



Lønnsomheten for Fischer-Tropsch-anlegget forutsetter altså salg av biproduktene som genereres gjennom produksjonsprosessen. Inntektene fra eventuelt salg av varme er imidlertid ikke inkludert i beregningene ettersom dette vil være avhengig av eksisterende infrastruktur for fjernvarme der anlegget lokaliseres. Avsetningen på varmen vil kunne øke lønnsomheten på anlegget ytterligere, og fremskynde det kommersielle gjennombruddet. Uten salg av biprodukter vil ikke produksjon av Jet A-1 basert på termokjemiske prosesser med restavfall fra treforedlingsindustri kunne være lønnsomt før etter 2030.

6.2 Jet A-1 produsert fra fornybar, annengenerasjons bioetanol (Alcohol-to-Jet, AtJ)
Dersom *Biojet Norge AS* velger et AtJ-anlegg er det her forutsatt at anlegget kjøper inn ferdig produsert bioetanol til markedspris. Bioetanol kan også produseres basert på norske skogressurser. I dette tilfellet er det også antatt at anlegget produserer 27 mill. liter fornybar Jet A-1, i tillegg ulike biprodukter som ikke er nøyaktig spesifisert.

Med en utbyttegrad på en liter Jet A-1 per fire liter bioetanol, samt en bioetanol-pris på 6 NOK/liter er de totale produksjonskostnadene for AtJ-prosessen estimert til å være på hele 27 NOK/liter Jet A-1 i 2012. Råstoffkostnaden (bioetanol) utgjør nærmere 90 % av de totale produksjonskostnadene. Hvordan de ulike produksjonskostnadene fordeler seg er vist i Tabell 6.3.

Tabell 6.3 - Produksjonskostnader AtJ

Produksjonskostnader	NOK / liter
Investeringskostnader	1
Andre driftskostnader	2
Råstoffkostnad	24
Sum	27

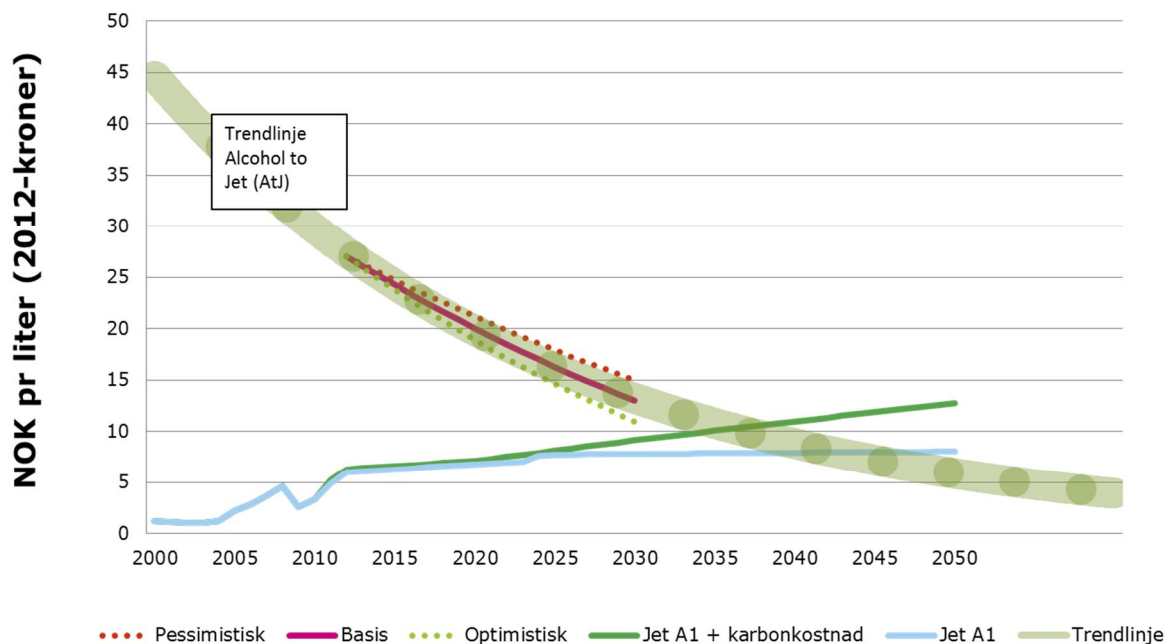
For AtJ vil biproduktene variere i forhold til hvilken prosess som velges da det er mange mulige alternativer. Basert på en valgt prosess må man foreta en dyptgående analyse av kjemisk sammensetning på biproduktene og tilhørende produktens egenskaper for å finne ut hvilke markeder biproduktene kan selges i. Det har dermed ikke vært mulig å estimere inntekspotensialet for salg av

⁴⁷ Rambøll, Macfarlane, R.; Mazza, P., Allan, (2011), IEA (2012), UK Department of Energy & Climate Change (2010)

biprodukter med foreliggende data, og følgelig kan det heller ikke beregnes en literpris fra AtJ-prosessen hvor biproduktene er medregnet.

I Figur 9 vises tre utviklingsscenarioer for produksjonskostnadene for AtJ-prosessen; *Basis*, *Optimistisk* og *Pessimistisk* sammenlignet med den forventede utviklingen av markedsprisen for fossil Jet A1 (som i Figur 8). Uten inntekter fra salg av biprodukter indikerer kurven at produksjonskostnaden ikke når markedspris for fossil Jet A-1 før etter 2030.

Figur 9 – Utvikling for AtJ-produksjonskostnader 2012-2030, uten salg av biprodukter. (Alle priser i norske 2012-kroner)⁴⁸



AtJ-prosessene er svært følsomme for endringer i bioetanol-prisen. Ettersom denne kostnaden utgjør over 90 % av produksjonskostnadene er den fremtidige utviklingen av prisen på bioetanol helt avgjørende for kommersialisering av bærekraftig Jet A-1 fra bioalkoholer. I tillegg vil salg av eventuelle biprodukter redusere de totale produksjonskostnadene og fremskynde det forventede kommersialiseringsgjennombruddet for AtJ-prosesser.

Med dagens teknologiutvikling og læringsrater for fornybar Jet A-1 produsert ved FT forventes drivstoffet å kunne være konkurransedyktig med fossil Jet A-1 før 2025 ved forutsetningene lagt til grunn i dette prosjektet. På grunn av manglende data er det større usikkerhet knyttet til når AtJ-prosessen kan bli konkurransedyktig. Usikkerheten i beregningene er uansett betydelige for begge. I dette prosjektet er det kun sett på bedriftsøkonomisk lønnsomhet. Ringvirkningene for miljø, næringsutvikling og sysselsetting vil i tillegg kunne gi en samfunnsøkonomisk effekt.

7. KLIMAEFFEKT AV FORNYBAR JET A-1

Det er gjennomført livsløpsvurderinger for å sammenlikne klimaeffekten av fornybar Jet A-1 med fossil Jet A1. Livsløpsvurderinger⁴⁹ er det ledende metodiske verktøyet for å beregne klima- og andre miljøeffekter for produkter, tjenester og systemer. Prinsippet bak en livsløpstankegang er at alle innsatsfaktorer, og deres tilknyttede miljøpåvirkninger, som inngår i et produkts livsløp må medregnes i en helhetlig sammenligning av alternative produkter⁵⁰.

⁴⁸ Rambøll, Macfarlane, R.; Mazza, P., Allan, (2011), IEA (2012), UK Department of Energy & Climate Change (2010)

⁴⁹ Life Cycle Assessments (LCA).

⁵⁰ Her er programvaren Simapro og databasen Ecoinvent (v 2.2 fra mai 2012) brukt, med tilpasning av data til norske forhold.

Livsløpsvurderingene tar utgangspunkt i et tenkt anlegg, *Biojet Norge AS*, og analyserer hele verdikjeden fra dyrking og høsting av råstoff fram til og med forbrenning av fornybar Jet A-1 i flymotoren. Resultatene sammenlignes med tilsvarende beregnet livsløpsvurdering for fossil Jet A-1. Slik vises i hvilken grad det vil være en gunstig klimaeffekt ved bruk av fornybar Jet A-1. Figur 10 illustrerer verdikjeden som er brukt for FT Jet A-1.

Figur 10 – Verdikjede for fornybar Jet A-1 via et FT-anlegg



Utredningen har vist at det er råstoff fra norsk skog som er det mest egnede råstoffet for *Biojet Norge AS*. Norsk skogsråstoff er derfor lagt til grunn for alle livsløpsvurderingene i prosjektet⁵¹. Andelen råstoff som ender opp som Jet A-1 (massekonverteringsgraden) er satt til 14 % for begge produksjonsruter.

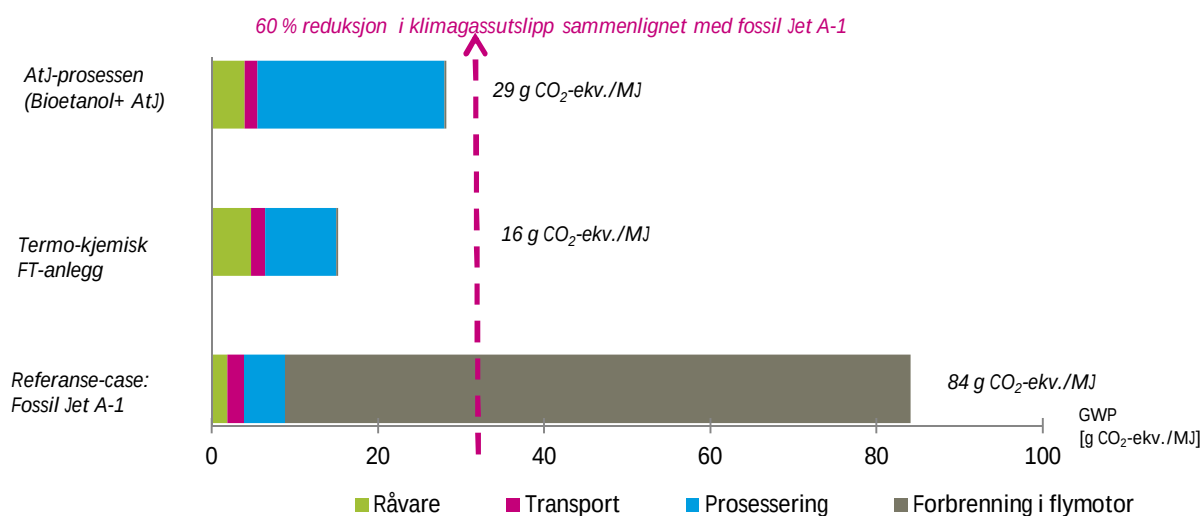
Resultatene uttrykkes i form av CO₂-ekvivalenter per energienhet⁵² i drivstoffet, der ulike gassers oppvarmingseffekt er omregnet til samme enhet. Klimaeffekt betyr derfor i denne sammenhengen evnen til å varme opp atmosfæren. Redusert klimaeffekt er dermed den positive effekten som oppnås ved å erstatte fossilt drivstoff med biodrivstoff. I livsløpsvurderinger betegnes gjerne klimaeffekt som Global Warming Potential (GWP). Tidshorisonten i beregningen er satt til 100 år.

Resultatene fra livsløpsvurderingene utført i denne studien viser at fornybar Jet A-1 fra FT- prosess gir en reduksjon i klimaeffekt på om lag 81 % i forhold til fossil Jet A-1, mens en AtJ-prosesser gir en reduksjon på om lag 65 %.

Begge oppfyller dermed kravet i EUs bærekraftskriterier om minimum 60 % reduksjon for nye biodrivstoffanlegg etter 2017.

Figur 11 viser resultatene for hvert av biodrivstoffene og for fossilt Jet A-1. Den stiplede røde linjen viser kravet om minst 60 % utslippsreduksjon.

Figur 11 - Livssyklusvurderinger for fornybar og fossil Jet A-1, sammenlignet med EUs bærekraftskriterier



⁵¹ Forbruket består av 70 % massevirke og 30 % hogstavfall

⁵² Megajoule, MJ

Figuren viser også i hvilken del av verdikjeden utslippene skjer. For fornybar Jet A-1 er det selve omdanningen av råstoff til Jet A-1 som bidrar mest til klimagassutslipp. For fossil Jet A-1 er forbrenningsfasen helt dominerende.

Analysene er basert på EUs gjeldende retningslinjer for beregning av klimaeffekt fra biodrivstoff.⁵³ Det mest vanlige i slike klimaberegninger er å regne klimagassutslipp fra biogene kilder, eksempelvis forbrenning av plantemateriale, som klimanøytralt. Det forutsettes da at tilsvarende mengde biomasse som forbrennes, blir erstattet i form av ny vekst. Kritikere har imidlertid hevdet at en slik tilnærming kan være misvisende ettersom tidsaspektet også spiller en viktig rolle for den reelle klimaeffekten. For eksempel vil hogst og påfølgende forbrenning av et tre i dag medføre utslipp som vil tilbringe mange tiår i atmosfæren før den samme mengden absorberer i ny skog. I mellomtiden vil utslippene bidra til global oppvarming. Utførte sensitivitetsanalyser viser at en slik alternativ tilnærming til biogene utslipp potensielt kan medføre betraktelig høyere klimaeffekt fra de analyserte forretningskonseptene for produksjon av biodrivstoff til luftfart.

På den annen side knytter FNs klimapanel 2-gradersmålet til det langsiktige stabiliseringsnivået av klimagasser i atmosfæren. Temporære utslipp i et rotasjonsskogbruk vil, i motsetning til fossile utslipp, ikke påvirke likevekten mellom CO₂ i hav, på land og i atmosfæren når det stabiliseres 100-300 år frem i tid. Livsløpsanalyser med et 100-årsperspektiv vil ikke fange opp denne grunnleggende forskjellen mellom fossile utslipp og temporære utslipp ved hogst. Standardmetodikken for LCA-analyser har imidlertid 100 år som tidsperspektiv.

Andre forhold vil ha avkjølende effekt. Skogens evne til å ta opp mer karbon kan økes gjennom god skogbehandling, slik som planting, gjødsling, tynning og riktig avvirkning. Ny forskning, blant annet ved NTNU og CICERO Senter for klimaforskning, viser at albedo-effekten er så stor at den kan oppveie en betydelig andel av oppvarmingseffekten som følger av biogene klimagassutslipp på kort til mellomlang sikt.⁵⁴ Albedoeffekten handler om endring i hvordan jordas overflate reflekterer tilbake solinnstråling. Ved hogst av skog på våre breddegrader reflekteres mer innstråling tilbake, spesielt fra snødekte hogstflater. Det er ikke gjennomført sensitivitetsanalyser i dette prosjektet der albedo-effekter er inkludert fordi metoder for å beregne og inkludere i albedoeffekten i klimagassregnskap er i en tidlig fase og usikkerheten er stor.

Klimaberegninger for biodrivstoff er et svært komplekst felt. Det er betydelig usikkerhet knyttet til metodikk og datagrunnlag. Endringer kan påregnes etter hvert som forskningen fremskaffer bedre kunnskapsgrunnlag.

Basert på dagens regelverk og tilgjengelig kunnskap om *Biojet Norge AS* sitt produksjonsanlegg viser livsløpsvurderingene at det vil være en betydelig klimabesparelse i å erstatte fossilt Jet A-1 med produksjonsprosessene for bærekraftig Jet A-1. Besparelsen er størst for Jet A-1 fra et FT-anlegg. Med forventet teknologiutvikling, som vil gi mer Jet A-1 per enhet råstoff, kan klimabesparelsen bli større.

8. KLIMATILTAKSKOSTNADER

2010 leverte etatsgruppen Klimakur 2020 en utredning om mulige virkemidler og tiltak for å nå de norske klimamålsetningene i 2020.⁵⁵ Utredningen omfattet alle sektorer og en rekke ulike virkemidler og tiltak, samt kostnadene knyttet til gjennomføring av disse. Klimakur 2020 etablerte et grunnlag for å kunne sammenligne klimatiltakskostnader på tvers av sektorer, og utgjør fremdeles i dag det beste kunnskapsgrunnlaget for vurderinger av kostnadseffektivitet i klimatiltak.

Innfasing av biodrivstoff var et viktig tiltak i transportsektoren i dette arbeidet. Det ble også beregnet klimatiltakskostnader for luftfart, men basert på forutsetningen om at alt biodrivstoffet importeres. Det ble dermed kun brukt grove estimater av markedspris for biodrivstoff til luftfart som kostnadsdata.

I Klimakur 2020 er det beregnet klimagassutslipp innenfor Norges grenser, og framskrivning av disse ved bruk av ulike tiltak og virkemidler. Tiltak og virkemidler er beskrevet, og tilhørende kostnader er

⁵³ Som beskrevet i Fornybardirektivets Annex V.

⁵⁴ Bright et al. (2012). Climate impacts of bioenergy: Inclusion of carbon cycle and albedo dynamics in life cycle assessment. Environmental Impact Assessment Review, (doi: 10.1016/j.eiar.2012.01.002.).

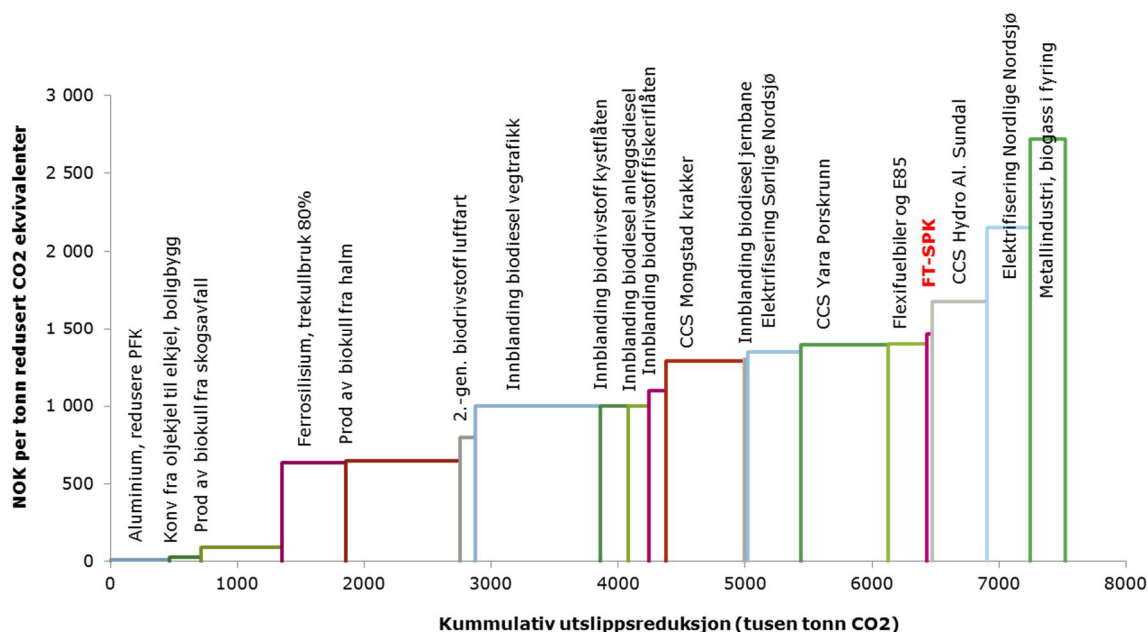
⁵⁵ Klimakur2020, Klif, NVE, Oljedirektoratet, SSB, Statens vegvesen, (2010)

beregnet. Det ble i arbeidet med Klimakur 2020 utarbeidet en metodikk for vurdering og beregning av tiltakenes økonomiske konsekvenser og for potensielle utslippsreduksjoner, som også legges til grunn for beregningene her⁵⁶.

Produksjonskostnaden i 2020 for FT Jet A-1 er estimert til å være 3,7 NOK/liter høyere enn markedsprisen for Jet A-1 med salg av biprodukter. Klimatiltakskostnaden beregnes ved at merkostnaden (kr) fordeles på antallet reduserte tonn klimagasser (omregnet til CO₂-ekvivalenter) dvs. at det vil koste 1460 kr å redusere utslippene fra luftfarten med bruk av fornybar Jet A-1 med 1 tonn CO₂ i 2020. Frem mot 2030 forventes det at produksjonskostnadene nærmer seg markedsprisen for Jet A-1. Klimatiltakskostnaden forventes derfor å være redusert til 468 NOK/tonn CO₂. Rambølls beregninger for 2020 viser høyere klimatiltakskostnad enn estimatet fra Klimakur, mens de estimerte kostnadene i 2030 er på om lag samme nivå.

I figuren under er klimatiltakskostnaden for Fischer-Tropsch inkludert med et utvalg av øvrige klimatiltakskostnader for ulike teknologier. Klimatiltakskostnadene er i dette bildet relativt høyere enn flere andre tiltak, men med dagens prognoser for markedspris for Jet A-1 vil klimatiltakskostnaden kunne bli negativ allerede i år 2030 (optimistisk scenario) og dermed gi en samfunnsøkonomisk gevinst.

Figur 8.1 – Utvalgte tiltakskostnader i 2020 Klimakur, inkl. Fischer-Tropsch (FT-SPK)



9. KONKLUSJONER

Denne utredningen har søkt å besvare tre grunnleggende spørsmål for «Biojet Norge AS»:

1. Hvilken teknologi og råstoff er egnet for norsk produksjon av fornybar Jet A-1 innen 2020-25?
2. I hvilken grad kan biodrivstoffet bli bærekraftig i forhold til natur og miljø, sosiale forhold og økonomi?
3. Kan det produseres konkurransedyktig slik at bærekraftig Jet A-1 bli etterspurt av luftfartsbransjen?

De mest egnede verdikjedene for helhetlig bærekraftige biodrivstoff Norge er vurdert ut i fra en samlet vurdering av antatt lønnsomhet, bærekraftaspekter, teknologistatus og modenhet, produksjonsvolum samt andre praktiske forhold.

⁵⁶ «Metode for tiltaks- og virkemiddelanalyser (sektoranalyser) i Klimakur 2020,» Kjernegruppa i Klimakur 2020

Dersom produksjon av fornybar Jet A-1 skal baseres på norsk råstoff vil det frem til 2020-25 være norsk skog som er den viktigste råstoffkilden, en råstoffkilde med lave klimagassutslipp. Det vil også være mulig å supplere med importert råstoff til konkurransedyktige priser, spesielt fra Nord-Amerika.

To produksjonsteknologier peker seg ut som mest lovende: Én termokjemisk omdanningsprosess (Fischer-Tropsch) med forgassing av biomasse fra skog, og én prosess som raffinerer bio-alkoholer til Jet A-1. Alkoholene kan være norskprodusert fra for eksempel grantrær, eller på lenger sikt fra makroalger, eller den kan importeres, produsert fra bærekraftige råstoff. Fornybar Jet A-1 basert på Fischer-Tropsch er allerede teknologisertifisert for innblanding av 50 % i dagens fly, mens AtJ forventes å bli det i løpet av 2013-14.

Drivstoffene som produseres i de to prosessene tilfredsstiller kravene i EUs bærekraftskriterier, som her utgjør definisjonen av bærekraft. Livsløpsevurderingene viser en klimabesparelse på 81 % for Jet A-1 fra en FT-prosess og 65 % for en AtJ-prosess sammenlignet med fossil Jet A-1. Dette er bedre enn bærekraftskriterienes krav om 60 % klimateffekt. Basert på dagens regelverk er det en betydelig klimabesparelse i å erstatte fossilt Jet A-1 med de skisserte fornybare produksjonsprosessene for Jet A-1. Det er imidlertid meget omdiskutert hvordan effekten av biodrivstoff på miljø og samfunn bør beregnes. Effekten av arealbruksendringer og tilbakebetalingstiden ved karbondjeld kan gjøre drivstoffene mindre gunstige, mens forbedret drift i skog- og landbruk og albedoendringer ved hogst av skog kan være positivt. Valg av type råstoff har spesielt stor betydning.

Literprisen for FT-produsert Jet A-1 forventes å kunne bli konkurransedyktig med fossil Jet A-1 innen 2025. Den viktigste forutsetningen for dette er at inntektene fra salg av biprodukter inkluderes. Estimerte produksjonskostnader i 2012 er 11 NOK/liter fornybar Jet A-1, hvilket tilsvarer en pris som er 5 NOK/liter høyere enn dagens markedspris for fossil Jet A-1. I et utviklingsscenario der en gitt teknologisk læringsrate gir reduserte fremtidige kostnader, vil den tilsvarende produksjonskostnaden på Jet A-1 være 7 NOK/liter i 2025. Sammenholdt med framskrivninger av markedsprisen på fossil Jet A-1 vil Jet A-1 fra avfall fra treforedlingsindustri i Norge basert på et FT-anlegg kunne være lønnsomt før 2025. Inntektene fra biodiesel og bionфта er her estimert til 141 mill NOK, basert på dagens markedspriser, og dette gir en kostnadsreduksjon på 5 NOK per liter produsert Jet A-1 (inkludert over).

Produksjonskostnaden for AtJ er langt høyere ved oppstart, hele 27 NOK/liter. For AtJ foreligger det ikke tilstrekkelig informasjon om eventuelle biprodukter, slik at inntekter ved salg av disse ikke er trukket fra. Prisen på bio-alkohol er det helt dominerende kostnadselementet, og prisutviklingen på denne vil være helt avgjørende for når Jet A-1 fra AtJ-prosessen kan bli lønnsomt. Det bør tillegges 50 % usikkerhet til estimatene på grunn av umodne teknologier og lite tilgjengelig data.

For å bedre både økonomi- og klimaregnskapet for fornybar Jet A-1 er det spesielt konverteringsgraden fra biomasse til biodrivstoff som må bedres, med mindre tap til prosessvarme og for eksempel økt bruk av fornybar elektrisitet som innsatsfaktor. Selv med gode læringsrater og reduksjon i produksjonskostnader avhenger etterspørselen etter bærekraftig Jet A-1 på mellomlang sikt av prisutviklingen på fossilt drivstoff. Jo høyere karbonprisen er, desto tidligere vil bærekraftig Jet A-1 kunne bli lønnsomt. Virkemidler som kan bidra til å senke produksjonskostnaden og fremskynde lønnsomhetstidspunktet vil være viktig for å sikre etterspørsel etter fornybar Jet A-1 fra flyselskapene.

I følge analysen er det 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 kan produsere til konkurransedyktige priser, men det er da spesielt viktig at man får solgt biproduktene fra produksjonen. Estimatenes er gjort på et overordnet nivå, og det vil være behov for mer detaljerte kalkyler basert på et spesifikt anlegg for å analysere lønnsomheten mer nøyaktig. Dagens teknologiske og økonomiske usikkerhet knyttet til slik produksjon gjør at forutsigbare og langsiktige rammevilkår er nødvendig for å redusere risiko, og dermed realisere bærekraftig Jet A-1 som et miljøvennlig alternativ for norsk luftfart.