



SINTEF

Rapport

Innovasjonssystemet rundt grønn luftfart i Trøndelag

Forfattere:

Tuukka Mäkitie, Jens Hanson, Lone Sletbakk Ramstad

Rapportnummer:

2023:00277 - Åpen

Oppdragsgivere:

Luftfartforum Trondheim lufthavn Værnes



SINTEF Digital
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim, Norway
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Rapport

Innovasjonssystemet rundt grønn luftfart i Trøndelag

EMNEORD
Grønn luftfart
Trøndelag
Innovasjonssystemet

VERSJON
Versjon 1.1

DATO
2023-02-28

FORFATTERE
Tuukka Mäkitie, Jens Hanson, Lone Sletbakk Ramstad

OPPDRAGSGIVER
Luftfartforum Trondheim lufthavn Værnes

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE
Børge Beisvåg


PROSJEKTNUMMER
102029045

ANTALL SIDER
24


SAMMENDRAG

Denne rapporten kartlegger innovasjonssystemet for grønn luftfart i Trøndelag. Formålet er å kartlegge kjerneaktørene i Trøndelag innen utvikling av grønn luftfart, hvilke faktorer i Trøndelag som påvirker videre utvikling av grønn luftfart, og hva mulighetene er for næringsutvikling i regionen. Kartleggingen vår viser at Trøndelag har et godt utgangspunkt for videre utvikling av grønn luftfart gitt et høyt teknologisk kompetansenivå knyttet til ulike energiteknologier og relevante eksisterende næringer i regionen. Kjernen og driveren i innovasjonssystemet i Trøndelag er det sterke forsknings- og utviklingsmiljøet rundt NTNU, SINTEF, Rolls-Royce Electrical Norway og Siemens. Disse er noen av de viktigste aktørene i utviklingen av grønn luftfart i Norge, noe som gjør at Trøndelag er godt posisjonert til å ta en ledende nasjonal rolle. Vi konkluderer med seks tiltak som kan hjelpe regionen i å bringe grønn luftfart fra snakk til konkret aktivitet.

UTARBEIDET AV
Tuukka Mäkitie

SIGNATUR

Tuukka Mäkitie (Mar 3, 2023 15:53 GMT+1)

KONTROLLERT AV
Trond Bakken

SIGNATUR

Trond Bakken (Mar 3, 2023 15:51 GMT+1)

GODKJENT AV
Espen Gressetvold

SIGNATUR


COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.
2023:00277

ISBN
978-82-14-07783-4

GRADERING
Åpen

GRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2023-02-22	Første versjon sendt til oppdragsgiveren
1.0	2023-02-28	Publisert versjonen etter tilbakemeldingen fra oppdragsgiveren
1.1	2023-03-03	Oppdatert prosjektoversikt

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1. Introduksjon	5
2. Innovasjonssystemet i Trøndelag	6
2.1. Hva er et regionalt teknologisk innovasjonssystem?.....	6
2.2. Forutsetninger for grønn luftfart i Trøndelag	7
2.3. Forskningsmiljø	8
2.4. Råmaterialer.....	11
2.5. Produksjon av alternative drivstoff og energibærere, ladetjenester	12
2.6. Produksjon av utstyr for ladestasjoner, lagring og energisystemer	14
2.7. Produksjon av fly og utstyr til nullutslipp fly.....	14
2.8. Lufthavner og myndigheter	15
2.9. Flyselskaper.....	16
2.10. Samarbeidsnettverk.....	16
3. Videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag	18
Appendiks: Intervjuene	23
Referansene	24

Sammendrag

Denne rapporten kartlegger innovasjonssystemet for grønn luftfart i Trøndelag. Vi fokuserer på lavkarbonbrensel eller -energibærere som batterier, hydrogen, biodrivstoff og syntetisk drivstoff i konvensjonell passasjertransport. Formålet er å kartlegge kjerneaktørene i Trøndelag innen utvikling av grønn luftfart, hvilke faktorer i Trøndelag som påvirker videre utvikling av grønn luftfart, og hva mulighetene er for næringsutvikling i regionen.

Kartleggingen vår viser at Trøndelag har et godt utgangspunkt for videre utvikling av grønn luftfart gitt et høyt teknologisk kompetansenivå knyttet til ulike energiteknologier og relevante eksisterende næringer i regionen. Kjernen og driveren i innovasjonssystemet i Trøndelag er det sterke forsknings- og utviklingsmiljøet rundt NTNU, SINTEF, Rolls-Royce Electrical Norway og Siemens. Disse er noen av de viktigste aktørene i utviklingen av grønn luftfart i Norge, noe som gjør at Trøndelag er godt posisjonert til å ta en ledende nasjonal rolle. Hurtigladestasjoner, energisystemer og lagringsløsninger er deler av verdikjeden for grønn luftfart hvor man kan forvente betydelige muligheter for selskaper i Trøndelag. Det finnes også muligheter for produksjon av grønne energikilder i regionen. Samarbeid på tvers av hele verdikjeden påpekes som en viktig forutsetning for videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag.

Vi konkluderer med seks tiltak som kan hjelpe regionen i å bringe grønn luftfart fra snakk til konkret aktivitet:

- Samle det regionale miljøet rundt grønn luftfart i et felles initiativ
- Samarbeid på tvers av verdikjeden for å etablere minst en grønn luftfartsrute innen 2030
- Etablere et forskningsprogram dedikert til grønn luftfart for å videreutvikle det teknologiske miljøet i regionen
- Videreutvikle det allerede sterke teknologiske miljøet rundt lokale løsninger for lading og kraftforsyning
- Kartlegging av behov, og etablering av infrastruktur for grønn luftfart på flyplasser i Trøndelag
- Legge til rette for lokal produksjon av grønt flydrivstoff i Trøndelag

Denne rapporten er bestilt av Luftfartforum Trondheim lufthavn Værnes. Forfatterne takker for et spennende oppdrag.

1. Introduksjon

Grønn luftfart er et viktig tiltak for å kutte utslipp fra passasjertransport i Norge og i verden. I 2019 var klimagassutslippene fra innenriks passasjerluftfart i Norge ca. 1,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, eller ca. 2,4 % av Norges utslipp (SSB, 2023b). Samtidig krever Parisavtalen at klimautslippene må reduseres til netto null innen 2050 for å unngå en global oppvarming på mer enn 1,5°C, og i Norge har vi satt et mål om å være et lavutslippssamfunn i 2050. Reduksjon av karbonutslipp i luftfart er viktig for å nå dette målet. Utslppsreduksjon er også et viktig tema i Regjeringens nye Luftfartstrategi (Regjeringen, 2023).

Strategien peker på at grønn luftfart er en mulighet for norsk næringsliv til å ta en mer aktiv rolle innen teknologiutvikling i luftfartssektoren. AVINOR og Luftfartstilsynet har foreslått at Norge bør bli en pådriver og arena for utvikling og testing av elektriske fly, og at alle sivile innenriksfly bør være elektrifisert innen 2040 (AVINOR and Luftfartstilsynet, 2020). I 2019 innførte regjeringen også et innblandingskrav på 0,5% biodriftstoff i vanlig drivstoff, og de har som ambisjon å heve innblandingen opp til 30% i 2030 (Ydersbond et al., 2020).

Som Norges ledende teknologiregion er Trøndelag sentral innen omstillingen i norsk luftfart, og vil også kunne bidra internasjonalt i utviklingen med å kutte utslipp fra luftfart. Trøndelag har et aktivt forskningsmiljø rundt grønne løsninger for luftfart, og har et rutenettverk som er godt egnet for tidlig innfasing av grønne fly. I tillegg er sentrale kraftteknologiselskaper som Rolls-Royce Electrical Norway og Siemens basert i regionen. For å støtte og videreutvikle disse aktivitetene er det behov for en bedre forståelse av de nåværende aktivitetene og aktørene i regionen. Regional aktivitet er viktig både for å skape fremtidige arbeidsplasser og verdier som en integrert del av verdikjeden innen grønn luftfart, og for å sikre at regionen er forberedt og i stand til å være blant de første som kan ta imot og betjene grønne flyruter.

Dette forskningsprosjektet kartlegger innovasjonssystemet for grønn luftfart i Trøndelag. Vi forstår grønn luftfart som luftfart basert på lavkarbon-brensel eller energibærere som den viktigste energikilden for fly. Vi fokuserer spesielt på batteri-elektriske løsninger, hydrogen produsert med lave eller ingen utslipp, grønt hydrogen basert på elektrolyse med fornybar elektrisitet, og "sustainable aviation fuels" (SAF), som er biobrensel produsert av avfall. Videre fokuserer vi på syntetisk brensel (e-fuel) basert på fanget karbondioksid og bærekraftig hydrogen, og verdikjedene som er knyttet til disse løsningene. Rapporten er avgrenset til primært å omhandle passasjertransport mellom lufthavner. Innovasjonssystemet i denne konteksten er dermed aktør-nettverket bestående av private og offentlige aktører i Trøndelagsregionen som er engasjert i utvikling og bruk av grønn luftfart.

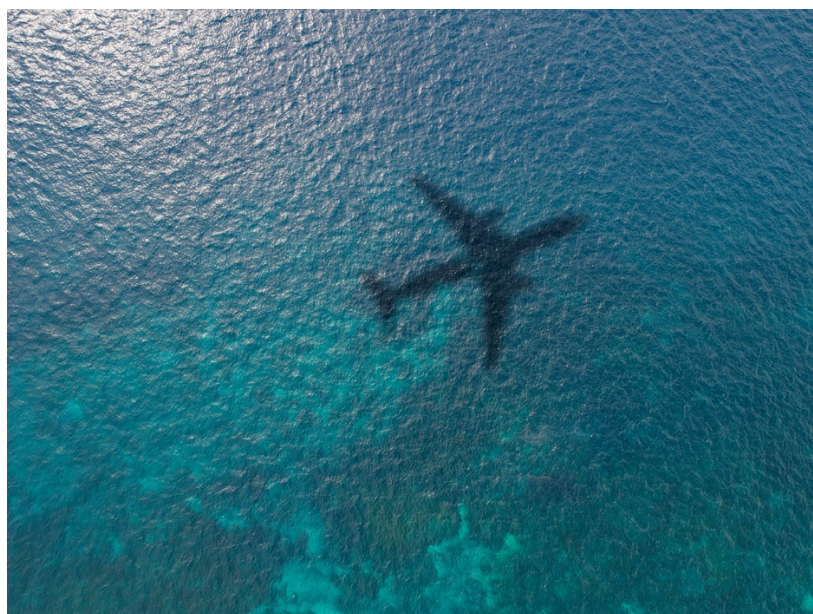
Det overordnede forskningsspørsmålet i rapporten er: *Hva kjennetegner innovasjonssystemet for grønn luftfart i Trøndelag?* For å svare på dette utforsker vi følgende underspørsmål: *Hvem er kjerneaktørene? Hvilke faktorer i Trøndelag påvirker videre utvikling av grønn luftfart i regionen?*

Rapporten kartlegger og beskriver kort de mest relevante private og offentlige aktørene (bedrifter, forskningsorganisasjoner, offentlige aktører, lufthavner etc.) i Trøndelagsregionen, som enten er involvert i grønn luftfart eller har potensiale til å spille en viktig rolle. Videre beskriver rapporten viktig samarbeid mellom aktører. Til slutt identifiserer vi kjernekaraktistika av Trøndelagsregionen, som påvirker utviklingen

av grønn luftfart (for eksempel forskningsmiljø, industristruktur, politikk og rammevilkår, geografi og kultur). Intervju med kjerneaktører (11 intervjuer) utgjør den viktigste informasjonskilden for rapporten. Intervjuene refereres i teksten med tall (1, 2, osv.). En oversikt over intervjuer og intervju spørsmål er presentert i appendiks. Eksisterende rapporter, policydokumenter og artikler fra media er også blitt gjennomgått.

Seksjon 2 presenterer kort begrepet innovasjonssystem samt de generelle forutsetninger for grønn luftfart i Trøndelag. Videre presenteres de viktigste aktivitetene i regionen innenfor ulike segmenter av verdikjeden for grønn luftfart. Seksjon 3 diskuterer hovedfunnene og videre utvikling av innovasjonssystemet rundt grønn luftfart i Trøndelag.

Denne rapporten er bestilt av Luftfartforum Trondheim lufthavn Værnes. Forfatterne takker for et spennende oppdrag.



2. Innovasjonssystemet i Trøndelag

2.1. Hva er et regionalt teknologisk innovasjonssystem?

Innovasjonssystem er et analysebegrep som speiler at innovasjon og nyskaping sjelden skjer i isolasjon, men heller gjennom samspill og samarbeid mellom ulike aktører som bedrifter, teknologileverandører, F&U-aktører, offentlige aktører på ulike nivå, samt kunder og brukere. Samspillet påvirkes av ulike former for reguleringer, politikk, kultur og normer (Bergek et al., 2008). Nye teknologier og industrier, slik som grønn luftfart, utvikler seg med utgangspunkt i det samspillet som skjer i et innovasjonssystem.

Et slikt innovasjonssystem kan ha ulik geografisk avgrensning, men ofte så er utviklingen i et regionalt system, som Trøndelag, påvirket og koblet til det som skjer på nasjonalt og globalt nivå, for eksempel

gjennom nasjonale/internasjonale klimaforpliktelser, markedsutvikling eller kunnskapsutvikling (Binz and Truffer, 2017). Likevel kan regionale system spille en viktig rolle ved å være viktige drivere for teknologi- og næringsutvikling, fordi regionale system ofte har gode forutsetninger for samspill og samarbeid på grunn av tillit og kjennskap på tvers av aktører (Hansen and Coenen, 2015).

Dette samspillet påvirker en rekke prosesser som må til for at en ny næring som grønn luftfart kan utvikle seg. Dette inkluderer utvikling av marked, ny kunnskap, investeringer og utvikling av infrastruktur og at aktører engasjerer seg i utviklingen (Bergek et al., 2008). Disse prosessene kan være med på å redusere en del av usikkerheten og risikoen når det gjelder teknologivalg og investeringer som er naturlig i en tidlig fase.

Vi bruker innovasjonssystem begrepet til å forstå hvordan ulike aktører og deres samarbeid i Trøndelag kan påvirke utviklingen og kommersialiseringen av grønn luftfart, og hvordan teknologisk utvikling kan skape muligheter for næringslivet i regionen.

2.2. Forutsetninger for grønn luftfart i Trøndelag

I 2019 reiste 4,5 millioner mennesker via de fem flyplassene i Trøndelag: Trondheim lufthavn Værnes, Rørvik, Namsos, Røros og Ørland. Værnes er den travleste flyplassen i regionen med ca. 4,4 millioner passasjer (Commutator AS, 2021a). Ruten mellom Trondheim og Oslo er en av de mest trafikkerte flyrutene i Europa med ca. 44 fly per dag (NRK, 2023). Værnes er derfor et viktig knutepunkt i det norske transportsystemet.

Trøndelag og Trondheim spiller en viktig rolle for norsk næringsliv og samfunnet for øvrig. Regionen har et rikt og variert næringsliv med høy aktivitet innen mange sektorer som bl.a. havbruksnæringen (sjømat står for 50 % av direkte eksport fra Trøndelag), mekanisk industri og en sterk prosessindustri i hele regionen. Trøndelag har også markert seg som et område med sterk satsing på kortreist mat, som bidrar til å trekke turister fra hele verden. Samtidig har vi verdensledende kompetansemiljøer innen realfag og teknologi med NTNU, SINTEF og en rekke teknologibedrifter i spissen.

I Trøndelags strategi for klimaomstilling er det nedfelt tydelige klimamål, hvor fylkeskommunen skal bidra til at Trøndelag når målsettingen om å bli klimanøytral innen 2030. Målet er at Trøndelag skal kutte 50-55% av klimagassutslippene innen 2030, redusere klimafotavtrykket og være klimarobust innen 2030. Et av delmålene i strategien er å ta i bruk fossilfrie og ressurseffektive løsninger i alle sektorer.

Anbudene til FOT-ruter (forpliktelser til offentlig tjenesteytelse), statens kjøp av transport på flyruter som ikke ellers er kommersielt bærekraftig, er et mulig instrument som kan brukes til å legge til rette for etablering av de første grønne flyrutene (AVINOR and Luftfartstilsynet, 2020). Trøndelag har et kortbanenettverk som kan egne seg til grønne løsninger som elektriske fly (6). Vurderinger rundt fremtidig introduksjon av grønne løsninger på disse FOT-rutene, f.eks. Trondheim-Namsos og Trondheim-Rørvik, har allerede begynt (Commutator AS, 2021b). På grunn av den utfordrende topografien og andre forhold er disse rutene viktige for tilgjengelighet og næringslivet i distriktene. I tillegg til FOT-ruter, er også Trondheim-Ålesund blitt foreslått som en mulig grønn flyrute (7). Samtidig har ruten Oslo-Værnes et veldig høyt

passasjervolum, men er for lang for elektriske fly. Betydelige utslippsreduksjoner kan derfor oppnås ved bruk av SAF (11).

Innen grønn luftfart har Trøndelag blitt pekt på som en mulig nasjonal arena for testing og utvikling av nye teknologier. Det er blitt argumentert for at en trøndersk arena for grønn luftfart kunne være en viktig måte å utvikle og teste grønne teknologier videre, og for å tiltrekke seg viktige internasjonale aktører til området (Bakken and Iversen, 2020). Et viktig første steg mot dette målet var Green Flyway-prosjektet (2019-2022, Interreg) som hadde som formål å etablere en testarena for elektrisk fly, droner, ladeinfrastruktur og andre løsninger i luftrommet mellom Røros og Östersund i Sverige. Dessverre ble oppfyllelsen av prosjektets fulle potensial utfordret av COVID-19 pandemien og stengingen av grensen mellom Norge og Sverige (3). Ulike type droner og vertikalt landende elektrisk fly (eVTOL) har også blitt utforsket i Trøndelag, samt med deres egne "flyplasser", vertiports. Mulige aktuelle brukerområder er f.eks. godstransport i distriktene.

2.3. Forskningsmiljø

Trondheim har Norges fremste forskningsmiljø innen energiteknologi. Sentrale forskningsmiljøer er SINTEF, spesielt instituttene SINTEF Energi og SINTEF Industri, og NTNU, f.eks. Institutt for elektrisk energi. I tillegg er Rolls-Royce Electrical Norway en viktig industripartner for forskningsinstituttene. Alle tre organisasjoner er med i det nye EU-prosjektet HE-ART hvor NTNU, SINTEF og Rolls-Royce har fått totalt 72,2 millioner kroner til forskning fra EU-kommisjonen. Dette prosjektet og andre viktige forskningsprosjekter er presentert i Tabell 1.

Tabell 1 Viktige forskningsprosjekter innen grønn luftfart i Trøndelag (Kilder: Forskningsrådet, CORDIS)

Prosjektnavn	Prosjekteier	Kilde	Budsjett for trønderske partnerne (kroner)	Tidslinje	Mål
HE-ART – Hybrid Electric propulsion system for regional aircraft	Rolls-Royce Deutschland	EU	72,2 mill. (Rolls-Royce-Electrical Norway, SINTEF, NTNU)	2023-2025	Demonstrate "the viability of a hybrid electric thermal turboprop (e-TP) within the scope of a dedicated integrated ground test demonstrator".
TULIPS – Demonstrating lower polluting solutions for sustainable airports across Europe	Schiphol Nederland	EU	20,8 mill. Kr (SINTEF)	2022-2025	Accelerate "the implementation of innovative and sustainable technologies targeting reduced greenhouse gas emissions at airports"
REFOLUTION – Refinery Integration, scale-up and certification for aviation and marine biofuels production	SINTEF	EU	21,9 mill. (SINTEF)	2023-2026	Demonstrate "the transformation of bio-oils produced from fast pyrolysis (FP) into advanced biofuels".



OVERLEAF – Novel low-pressure cryogenic liquid hydrogen storage for aviation	Aciturri Engineering, Spania	EU	6,6 mill. (NTNU)	2022-2025	Develop "Liquid Hydrogen (LH2) storage tank to enable the transition towards H2-powered aviation."
Develop X10: the world's first full-scale electric amphibious seaplane based on the flying boat concept.	EL-Fly Group	NFR	16.0 mill. (totalt) (SINTEF Digital, SINTEF Ocean, NTNU)	2022-2025	Utvikle et elektrisk sjøfly. Testing i sjøbassenget på Tyholt (SINTEF Ocean)
ElectricAviation – Multi-Megawatt Electric Propulsion Technologies for Future Zero-Emission Aviation	NTNU	NTNU		2021-2024	Research electric aviation.
Biomass to Aviation Fuel	NTNU	NFR	14,9 mill. (totalt)	2020-2024	Utvikle "nye prosesser basert på katalytisk hurtig hydropyrolyseteknologi for syntese av neste generasjon av bærekraftige drivstoff for luftfart fra lignocellulosic biomasse"
eCOCO2 – Jet fuel from CO2 using sustainable and affordable processing technologies	CSIC, Spania	EU	7,4 mill. (SINTEF)	2019-2023	Develop "an intensified process to directly produce synthetic jet fuels from CO2 using renewable electricity and water steam."
Bio Fischer-Tropsch – Staging and Multiple Hydrogen Feed of Biomass to Fischer-Tropsch Fuel Synthesis	NTNU	NFR	11,6 mill. (totalt)	2018-2021	Forbedre energivirkningsgrad og karboneffektiviteten i produksjon av syntetisk råolje

SINTEF Energi jobber med nye energibærere både på fly og med infrastruktur på bakken (8). Når det gjelder infrastruktur, så jobber SINTEF Energi for eksempel med modulær hurtiglading til fly. Instituttet utforsker også energisystemproblematikk rundt biodrivstoff og hydrogen i flybransjen. Dette knytter seg generelt til spørsmål om hvordan hydrogen kan brukes som energibærer i luftfart, og hvordan relevante energisystemer (regionale og internasjonale, også lokale energisystemer på flyplass) kan optimeres. Instituttet har lang historie i flytende naturgass (LNG), og har brukt dette til utvikling av kompetanse innen håndtering av flytende hydrogen (8). Teknologi- og prosessutvikling samt sikkerhet er viktige tematikker innen flytende hydrogen. Instituttet også jobber med testing og forståelse av degraderingsmekanismer og pålitelighet for kraftelektronikk i elektriske drivlinjer for fly, samt med modellering av hydrogenforbrenning i turbiner (8). SINTEF Energi har også jobbet lenge med SAF, og har flere prosjekter som direkte eller indirekte knytter seg til grønn luftfart gjennom forskning på prosesser som er relevant for produksjon og bruk av SAF (9).

SINTEF Industri har en svært omfattende erfaring med forskning og innovasjon på bærekraftige energiteknologier for transportsektoren. Landbasert transport og skipsfart har vært hovedtema frem til nå, hvor instituttet har hatt stor innvirkning på europeisk kunnskapsutvikling de siste tiårene. Fokuset har vært

spesielt rettet mot utstyr knyttet til nye energikilder: spesielt brenselceller, batterier, hybridløsninger og optimalisering av komponenter (10). Nå utvides den faglige utviklingen til luftfart. Mens instituttet kan bygge på sine tidligere erfaringer fra andre typer transport, presenterer luftfart også nye type utfordringer som krever mer forskning og bedre forståelse av spesifikke betingelser, for eksempel for hydrogenløsninger i luftfart. I tillegg til løsninger for fly utforsker SINTEF Industri også energiløsninger for bakkestøtteutstyr og forsyning av hydrogen til flyplasser, for eksempel i prosjektet TULIPS (10). Institutt for elektrisk energi på NTNU har ansvar for elektriske maskiner. Innen grønn luftfart bidrar de med kunnskap om kraftsystemer og fremdriftsmaskineri, spesielt innen hydrogen, med fokus på hydrogen som et kjølemedium i maskineri og som brensel.

Det er behov for avansert forskningsinfrastruktur for å støtte teknologiutvikling for grønn luftfart på ulike nivåer av teknologimodenhet (TRL) og innen flere ulike tema. NTNU, SINTEF og til dels lokal industri administrerer en rekke laboratorier og forskningsinfrastruktur som kan støtte opp under flere av disse behovene. Dette kan gjøres direkte slik de opereres i dag og gjennom utvikling av spesialtilpasninger for forskning på luftfart. Noen eksempel inkluderer den nye batterilaben, samt infrastruktur knyttet til teknologiområder som kulde- og kjøleteknikk, smarte sensorer og mikrosystemer (SINTEF Digital), menneskelige faktorer, forbrenning av nye energibærere, elektrifisering (SmartGrid laboratoriet, SINTEF Energy Lab), lettvektmaterialer og brenselceller for hydrogen.



Foto: Thomas Høstad/NTNU

Skal en lykkes med grønn luftfart så er lokalt, regionalt og nasjonalt engasjement viktig, men det krever også et internasjonalt engasjement. SINTEF og NTNU har gjennom flere år posisjonert seg internasjonalt for å sikre at man er en del av kompetanse- og teknologiutviklingen. Arbeidet har blant annet resultert i at de kvalifiserte seg til å bli medlem av EUs partnerskap Clean Aviation. Dette programmet vil finansiere prosjekter til en verdi av omtrent 2,5 milliarder euro i perioden frem til 2030. SINTEF og NTNU ble valgt i sterk konkurranse med andre internasjonale aktører og ble valgt på bakgrunn av kompetanse og posisjon. Deltakelse i partnerskapet gir muligheter for å delta i prosjekter sammen med ledende aktører i luftfartsindustrien i Europa. En regional satsing, for eksempel innen utvikling av infrastruktur både til testing og operativ drift, vil kunne gjøre det enklere å tiltrekke seg internasjonal aktivitet.

2.4. Råmaterialer

I intervjuene med de ulike aktørene (respondenter) vektlegger de at det finnes muligheter for produksjon av grønne energikilder i Trøndelag (3, 5, 6). Kraftproduksjonen i Trøndelag var i 2021 på 12,0 TWh og forbruket var på 10,9 TWh (SSB, 2023, tabeller 08308 og 10314). NVE forventer at strømprisen vil ligge mellom 38-63 øre/kWh i Midt-Norge i perioden 2030-2040, noe som er litt lavere enn gjennomsnittsprisen for hele Norge. Tilgjengeligheten til strøm varierer mellom ulike områder i Trøndelag, og spesielt de mindre flyplassene i distriktene kan ha for svake kraftnett for lading av fly (2, 7). Tilgjengelighet til fornybar energi er viktig når man planlegger hvilke ruter som kan elektrifiseres (6). Bakkestående batterier ved lufthavner kan brukes som en løsning på problemet. Ellers, vil også produksjon av grønt hydrogen og SAF gjennom elektrolyse kreve mye rimelig og fornybar kraft (9). Grønn luftfart i alle former har dermed behov for kraft i tilstrekkelige og forutsigbare mengder på nye lokasjoner, noe som krever investeringer i kraftnettet.

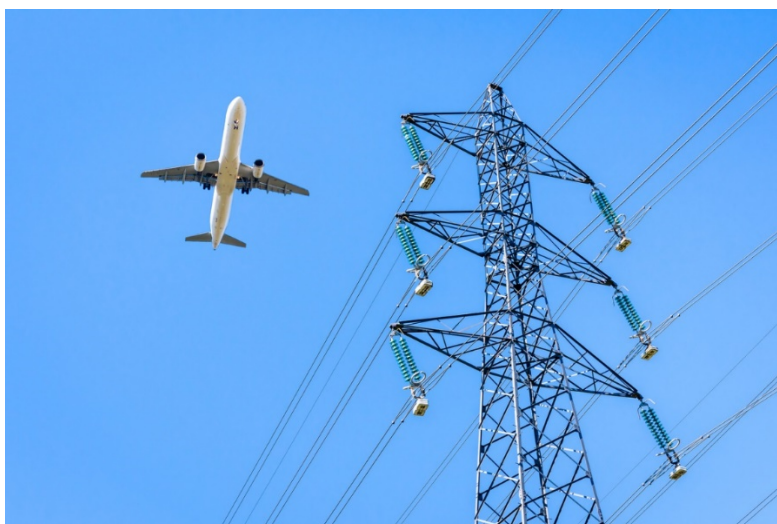


Foto: olrat / istockphoto

Godt samarbeid mellom nettselskaper som Tensio og Statnett, lufthavner, og operatører av ladetjenester, samt mulige produsenter av alternative drivstoff, er derfor viktig for å muliggjøre grønn luftfart i Trøndelag. Dette gjelder spesielt Tensio, som har det regionale ansvaret for strømforsyning, og som har en sentral rolle i å legge til rette for hurtiglading av elektrisk fly (1, 2, 7, 11). Denne utviklingen vil skje i en kontekst hvor kraftbehovet øker raskt også i andre sektorer pga. elektrifisering. Tensio har uttalt at om alle kraftbehovene som aktører i regionen har meldt skal realiseres, vil energi- og effektforbruket øke med 60-85% i Trøndelag (Tensio, 2022). Derfor har også lokale kraftprodusenter som Statkraft Energi, Aneo og NTE en viktig rolle i å bidra med rimelig fornybar kraft for produksjon av grønne flydrivstoff og elektrifisering (11).

Trøndelag er rik på skogressurser, med en årlig vekst på ca. 3 millioner kubikkmeter av skog og en årlig hogst på ca. en million kubikkmeter. Det betyr at Trøndelag har en årlig skognettvekst på ca. 2 millioner kubikkmeter (Anne Sigrid Haugset/SINTEF Digital; SSB, 2023a). Regionen har også restprodukter fra skog-, sag- og treforedlingsindustrien som kan brukes til produksjon av SAF, samt bioavfall fra f.eks. oppdrettsnæringen. Men, det er uklart hvor store deler av den tilgjengelige biomassen som er økonomisk lønnsom å utnytte.

Det gjenstår mange teknologivalg før en kan realisere grønn luftfart. Det er derfor viktig å være tett på og følge prosessene nøye, slik at en kan sikre tilgang til utslippsfri energi når flyene er klare til å bli tatt i bruk. Siden luftfarten er en krevende transportform å redusere utslipp fra, kan det være behov for å bli prioritert, for eksempel når det gjelder tilgang til biomasse.

2.5. Produksjon av alternative drivstoff og energibærere, ladetjenester

Battericeller er en viktig del av elektrifisering i ulike typer transport og representerer en mulighet for regionen (7). En respondent forventer at batteriverdikjeden skal organiseres på følgende måte (2). Battericeller produseres av batteriselskaper (f.eks. Siemens), mens fremdriftssystemprodusenter (som Rolls-Royce) kjøper og tilpasser dem til å lage batteripakker til deres systemer. Til slutt, vil flyprodusenter (som Airbus) være kjøper av hele fremdriftssystemer. Siemens produserer batterier for maritim bruk i Trondheim i dag, men ikke til luftfart. Generelt sett, vil produksjon av battericeller til ulike sektorer være lik, men kjemiske og teknologiske egenskaper i produksjonen må knyttes til behovene i spesifikke brukerområder som f.eks. luftfart (2). Det betyr at en kan forvente enkelte tilpasninger for å etablere produksjon av battericeller spesifikt rettet mot luftfart.

Hydrogen kan også være et viktig nullutslippsdrivstoff for luftfart, enten som gass, i flytende form eller som en innsatsfaktor for produksjon av SAF. I dag eksisterer det ingen kommersiell produksjon av nullutslippshydrogen i Trøndelag. Men, flere prosjekter er i gang og disse initiativene kan skape viktige synergier mellom ulike brukerområder for hydrogen gjennom konseptet hydrogenknutepunkt, og kan derfor være aktuelle også for luftfart (6, 7, 11). For eksempel så utvikler NTE og H2 Marine et hydrogenknutepunkt i Rørvik som har fått 125,7 millioner kroner i ENOVA-støtte (E24, 2022). Prosjektet er rettet mot skipsfart, men Rørvik har også en flyplass med en FOT-rute, og prosjektet er derfor interessant for mulig bruk av hydrogen i flyene som opereres fra Rørvik lufthavn (10). I tillegg har produksjonsanlegg for grønt hydrogen

på Hitra fått ENOVA støtte på 113 millioner kroner. Samtidig planlegges det nok et produksjonsanlegg i Meråker. Alle tre prosjektene planlegges å stå ferdig i 2025.

Som nevnt så kan hydrogenprodusenter også finne markedsmuligheter innen produksjon av SAF (5, 8). Syntetisk SAF kan produseres fra (nullutslipp) hydrogen og fange karbondioksid gjennom Fischer-Tropsch-prosessen. SAF kan være en viktig løsning for flybransjen fordi det kan brukes i forbrenningsmotorer, som er den dominerende løsningen i bransjen i dag (5). Den mest aktuelle produsenten av biodrivstoff/SAF i regionen har vært Biokraft (3, 5, 6). Selskapet har et anlegg i Skogn som produserer biogass fra industrielt avfall spesielt fra Norske Skog og sjømatindustrien. I dag forsyner selskapet biogass spesielt til landbasert transport, for eksempel Gasums fyllestasjon ved Coop Norge i Trondheim (Yrkesbil, 2021). Anlegget i Skogn har nylig doblet produksjonskapasiteten til 20.000 tonn flytende biogass i året. Biokraft har tidligere søkt EU-finansiering sammen med SINTEF og en tysk partner til flydrivstoffproduksjon basert på nåværende råstoff og tang og tare (NRK, 2020).

Levering av ladetjenester utgjør også en mulighet for lokale selskaper. Men det er fortsatt uavklart om flyplassene selv (AVINOR) skal operere og selge kraft fra hurtigladere til flyselskapene, eller om det blir aktuelt for en tredje aktør å ta ansvaret for det, på samme måte som konvensjonelle flydrivstoff selges i dag (4, 6). Ifølge AVINOR Værnes pågår det diskusjoner om dette spørsmålet internt i organisasjonen i dag (6).

Et generisk problem med nye drivstoff, spesielt SAF og hydrogen, er at deres tilgjengelighet er lav og prisene er høye, noe som gjør det vanskeligere for flyselskaper å investere i grønn luftfart (6, 8, 9). For å produsere SAF må bio- eller syntetisk drivstoff raffineres og sertifiseres, noe som betyr betydelige kapitalkostnader for produsenter (9). En viktig forutsetning for grønn luftfart er derfor at produksjonsvolumene økes og kostnadene reduseres. For å skape incentiv for investeringer i produksjon, må også markedet for SAF utvikles.



Illustrasjon: Scharfsinn86 / istockphoto

2.6. Produksjon av utstyr for ladestasjoner, lagring og energisystemer

Hurtiglادestasjoner, energisystemer og lagringsløsninger er deler i verdikjeden som forventes å gi betydelige muligheter for selskaper i Trøndelag (3, 7, 8, 11). Det finns et etablert teknologimiljø for lignende løsninger for elektrifisert transport i regionen, og samme type teknologi som brukes innen skipsfart i dag kan brukes i luftfart (2, 4, 11). Siemens i Trondheim, er en viktig leverandør av lokale kraftsystemløsninger og koblinger til kraftnettet (4). Systemintegrasjonen mellom fly, ladestasjoner og kraftnettet er viktig for sikker og forutsigbar strømforsyning for elektrifiserte fly. Siemens leverer også ladestasjoner for elektrifisert transport samt stasjonære batteriløsninger som kan bidra med ekstra kraft når det ikke er nok elektrisitet i nettet (4, 11).

Rolls-Royce utvikler også hurtiglادestasjoner. Selv om de lages i Tyskland, jobber avdelingen i Trondheim aktivt med utviklingsarbeid. Rolls-Royce Electrical Norway har vært en av de første aktørene i verden til å utvikle ladestasjoner for luftfart. Som et faglig foregangsmiljø, vurderes det nå om Rolls-Royce Electrical Norway skal gis et spesielt ansvar i konsernet for å utvikle hurtiglادestasjoner for luftfart (5). Det vil kunne sikre at Trondheim blir et viktig utviklingscenter i Europa for fremtidens utstyr innen elektrisk luftfart.

Enkelte av de praktiske utfordringene med elektrifisering av luftfart knytter seg til at man fortsatt vet lite om praktiske betingelser for elektriske fly. Dette dreier seg blant annet om spørsmål om hvor ofte flyene skal lades, hvor mye tid som benyttes til lading, om flyene skal lades på natten, samt hvilke flymønster og ruter flyene skal ha (4, 8). Kraftprisen ved lading er også viktig. Det er sentralt at denne er lav nok til at det motiverer flyselskapene til å investere i elektriske fly, men samtidig også høy nok til at infrastruktureiere kan betale tilbake sine egne investeringer (4). Til tross for utfordringene og usikkerheten rundt de første grønne prosjektene, har foregangsaktørene i Trøndelag også en mulighet til å påvirke etableringen av f.eks. standarder og løsninger rundt lading (4, 6), noe som kan gi et viktig fortrinn for lokale selskaper som Siemens og Rolls-Royce i fremtidens markeder.

2.7. Produksjon av fly og utstyr til nullutslipp fly

Rolls-Royce er en viktig leverandør til den internasjonale flynæringen. Kontoret i Trondheim, Rolls-Royce Electrical Norway, er derfor en viktig aktør for hele regionen i luftfartsbransjen, spesielt når det gjelder elektriske motorer. Rolls-Royce Electrical Norway begynte å jobbe med elektrisk fly i 2015, og har nå erfaring med helelektriske fly, hybrider og MEA (more electrified aviation, hvor elektrisitet brukes til andre funksjoner enn drivkraft). Sammen med Airbus og Siemens har selskapet tidligere utforsket muligheter for større regionale fly, men har senere fokusert mer på de mindre typene som 9- og 19-seters fly (5).

Rolls-Royce Electrical Norway kan også bygge på tidligere erfaringer fra den maritime næringen. For eksempel, så har begge bransjer lignende sikkerhetsutfordringer knyttet til nye energikilder (batterier, hydrogen, osv.) (5, 11). Samtidig er det også ulikheter mellom luftfart og maritim transport. For eksempel kan batterier brukes som ballast i fartøy, mens vekten av batterier er en stor utfordring i luftfart (5).

Selv om Rolls-Royce er en viktig aktør for regionen, er det en klar utfordring for Trøndelag og hele Norge at det ikke finnes en ledende industriaktør, som en viktig flyprodusent, som kan stimulere teknologisk utvikling og bidra til videre bygging av et næringsøkosystem i regionen (11). Det forventes heller ikke at slike aktører etablerer seg i Norge (3). Etablering av tettere samarbeid med viktige europeiske selskaper som f.eks. Airbus er derfor en viktig oppgave for videre næringsutvikling innen grønn luftfart i Trøndelag. Tilstrekkelig regional interesse, støtte, aktivitet og kompetanse blir viktig slik at en kan være i stand til å etablere samarbeid med internasjonal luftfartsindustri.

EL-Fly group har fått finansiering gjennom programmet Pilot-T til å utvikle et elektrisk sjøfly. Noe av ideen er å etablere sjøflyhavner i sentrale byer og fly ut til nærliggende senter og turistområder. EL-Fly Group har hovedkontor i Bergen, men Trøndelag er involvert gjennom SINTEF og NTNU som bidrar i utviklingen og testingen, for eksempel med testing av sjøflyskroget i havbassenget på Tyholt. Finansiering av slike prosjekt er ikke bare viktig for forselskapet selv, men er viktig for å utvikle løsninger og kompetanse som er avgjørende for videre verdiskaping innen feltet i Norge. EL-Fly Group har også flere andre prosjekter gående.

2.8. Lufthavner og myndigheter

Offentlige aktører i Trøndelag beskrives generelt å være offensive i å støtte klimatiltak i regionen (7). Når det gjelder grønn luftfart, har AVINOR som lufthavnseier og operatør naturligvis en sentral rolle. AVINOR er viktig som tilrettelegger for grønn infrastruktur, i form av ladestasjoner, lagring av hydrogen og SAF på flyplassene Værnes, Rørvik, Namsos og Røros (2, 3, 7, 8, 11). Klimavennlige løsninger er et satsingsområde hos AVINOR, og selskapet har utforsket muligheter, spesielt innen elektriske fly (AVINOR and Luftfartstilsynet, 2020). I tillegg kartlegger AVINOR kraftsituasjonen på sine lufthavner som en forberedelse til elektrifisering av luftfart (6). AVINOR har som konsern uttalt at de skal legge til rette for nye energikilder når det blir aktuelt med grønn luftfart i Norge (6, 7). Tilgjengelig infrastruktur er en forutsetning for at flyselskaper gjør investeringer, for eksempel i elektriske fly. Det er derfor viktig at lokale flyplasser i Trøndelag er fremoverlent og skaper den nødvendige infrastrukturen som muliggjør grønn luftfart i regionen. Det stilles også krav til videre utvikling av hurtigladeløsninger. Det rapporteres at Trondheim lufthavn, Værnes, allerede har hatt en god dialog med Rolls-Royce Electrical Norway (5). Ifølge AVINOR Værnes, er de også i dialog med et selskap i regionen om utvinning av biogass (6).

Det er flere åpne spørsmål som må avklares innen flyplassene kan ta beslutninger om investeringer i infrastruktur for grønn luftfart. For eksempel er det usikkerhet om hvor stor kraftforsyning flyplassene må legge til rette for, noe som er avhengig av hvor mange elektriske fly som skal operere fra flyplassen daglig (4, 8). For å hjelpe med investeringsbeslutninger, har Siemens utviklet verktøy som kan brukes til å simulere kraftbehov ved flyplasser (4). Lokal energiproduksjon og lagringsmuligheter for å ivareta energibehovet i perioder med stor etterspørsel, såkalte "peaks", er også aktuelt.

Lokale myndigheter spiller en viktig rolle som arealplanlegger i grønn flydrivstoffproduksjon. Arealplanleggingen må henge med og legge til rette for dette. Samtidig ser en at areal for produksjon og

lagring kan bli en utfordring for den grønne omstillingen (7). Trondheim kommune har utforsket mulighetene for å etablere et testområde og et kompetansesenter i Trondheimsregionen (Bakken and Iversen, 2020).

2.9. Flyselskaper

Flyselskaper som opereres fra flyplasser i Trøndelag er i dag opptatt av grønn luftfart (7). Widerøe, som er den viktigste operatøren av kortbanenettverket, kan ha en sentral posisjon i etablering av grønn luftfart i Trøndelag og hele Norge (5). Værnes er en viktig hub for Widerøe i dag. Konsernet har uttrykt en ambisjon om å elektrifisere en stor del av deres flyflåte innen 2030. Selskapet har etablert en egen divisjon, Widerøe Zero, til å utforske muligheter innen grønn luftfart. Samtidig har SAS fokusert spesielt på biodrivstoff, og har et mål om å bruke 17% biodrivstoff i flyene sine innen 2030, noe som vil bety nettonull karbonutslipp på innenriksflyruiter. Norwegian har et mål å bruke 28 % SAF innen 2030. Om disse målene realiseres, betyr det markedsmuligheter for f.eks. produsenter av nye type flydrivstoff i regionen.

2.10. Samarbeidsnettverk

Utviklingen av radikale nye energiteknologier slik som i grønn luftfart er avhengig av godt samarbeid mellom aktører i innovasjonssystemet. Dette samarbeidet skjer i ulike typer nettverk. Formelle nettverk som klyngeorganisasjoner kan ofte spille en viktig rolle som en "mellomsromaktør" og kan bidra til f.eks. kunnskapsutvikling, interaksjon blant nettverksmedlemmer og standardisering (Musiolik and Markard, 2011). Samtidig er uformelle nettverk mellom aktørene også viktige.



Foto: Fartein Rudjord / SINTEF

I dag finnes det ingen klynge som har som hovedmål å fremme grønne luftfart i Trøndelag. Samtidig har andre nye teknologiområder som autonome fartøy (Ocean Autonomy Cluster), mer bærekraftig akvakultur (NCE Aquatech Cluster), og hydrogenlastebiler (HyWay Alliance Trøndelag) fått sine egne klyngeorganisasjoner i Trøndelag. Mangelen av en "Nettverk for grønn luftfart i Trøndelag" speiler at luftfartsnæringen fortsatt er relativt liten i Trøndelag og Norge generelt. Men, klyngeorganisasjoner kan også bidra til at flere aktører engasjerer seg i det nye markedet. Renewable Energy Cluster (REENERGY) har uttrykket en ambisjon om å sette opp en satsning på grønn luftfart i Trøndelag med et formål å koble sammen de sentrale forskningsmiljøene, selskapene, myndigheter på ulike nivå, samt andre viktige interessepartnere (1). Grønn luftfart er på mange måter et nytt markedsområde, og etablering av samarbeidsnettverk vil kunne engasjere små og mellomstore bedrifter mot luftfart selv om de i dag ikke er aktive innen denne transportformen. Et viktig mål er også å utforske muligheter for (nye) flyruter for bruk alternative drivstoff.

NTNU og SINTEF har gått sammen og etablert et Geminisenter (Green Aviation Gemini Centre) som en samarbeidsarena innen grønn luftfart. Det er et strategisk tverrfaglig samarbeid for null-utslippsluftfart som vil organisere forskningsrettede og kunnskapsspredende arrangementer (workshops, foredrag), bidra til promotering og konferanser innenfor nettverket, samt koordinering av deltakelse i offentlige arrangementer. Senteret vil koordinere en etablering av banebrytende laboratorieinfrastruktur, og muliggjøre økt deling av eksisterende laboratorier. Senteret vil også ha fokus på utdanning, som er viktig for å kunne ivareta fremtidens behov for kompetanse innen grønn luftfart. Senterets medlemmer er SINTEF Energi, SINTEF Digital og NTNU Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk.

Når det gjelder samarbeid med AVINOR, har forsknings- og utviklingsmiljøene i Trøndelag primært hatt interaksjon med AVINORs hovedkontor og ikke med Værnes lufthavn (6). Det er naturlig fordi innholdet i samarbeidet hittil primært har handlet om forskning og ikke implementering av løsninger. Men når de første grønne ruteflyene blir aktuelle, har AVINORs flyplasser i Trøndelag potensial til å bli internasjonale foregangsflyplasser på grunn av den nære beliggenheten til viktige aktører som NTNU, SINTEF, Rolls-Royce Electric Norway og Siemens sine kontorer i Trondheim. Som tidligere nevnt, er det fortsatt flere åpne spørsmål for eksempel når det gjelder betingelser for ladeløsninger (4). Godt lokalt samarbeid mellom flyplassene, nettselskapet, myndighetene, teknologileverandørene og forskningsmiljø kan være en viktig forutsetning for eksperimentering for eksempel med ladeløsninger for elektriske fly, noe som kan bidra til realisering av grønn luftfart i Trøndelag og verden (11). Green Flyway-prosjektet var et godt eksempel på denne typen samarbeid mellom private selskaper og offentlige aktører fra både Norge og Sverige (3).

Selskapene i Trøndelag må selvsagt også samarbeide med aktører utenfor regionen. For eksempel, kan leverandører som Siemens og Rolls-Royce og flyplasser samarbeide med utenlandske flyprodusenter og flyselskaper om ladekoblinger og kraftbehovene i elektrisk fly (7). Disse samarbeidene kan være viktige for regionen for å skape koblinger med viktige aktører i det internasjonale luftfartsnæringen.

3. Videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag

Kartleggingen vår viser at Trøndelag har et godt utgangspunkt for videre utvikling av grønn luftfart gitt det høye teknologiske kompetansenivået innen ulike energiteknologier samt relevante næringer i området. Selv om luftfartsnæringen er relativt liten i Norge, har Trøndelag viktige aktører innen flere segmenter av verdikjeden for grønn luftfart. Trøndelag har kompetanse i flere deler av verdikjeden. Denne kompetansen er basert på allerede kjente energiløsninger i andre sektorer, som f.eks. maritim sektor, som kan gjenbrukes og videreutvikles i luftfarten. Kjernen og driveren i innovasjonssystemet i Trøndelag er det sterke forsknings- og utviklingsmiljøet rundt NTNU, SINTEF, Rolls-Royce Electrical Norway og Siemens. Disse er blant de mest sentrale aktørene i utviklingen av grønn luftfart i Norge, noe som gjør at Trøndelag er spesielt godt posisjonert til å ta en ledende rolle i utviklingen av grønn luftfart nasjonalt. Regionen har også god tilgang til kompetente ingeniører fra NTNU (f.eks. i elektrisk energi), som utgjør et potensial for selskaper som ønsker å posisjonere seg innen spesifikke områder innen grønn luftfart. Likevel er innovasjonssystemet rundt grønn luftfart i Trøndelag, som i hele landet, foreløpig lite, og flere selskaper og aktører trengs for å skape et mer robust miljø.

Utviklingen i Trøndelag bør ses i sammenheng med utviklingen av grønn luftfart også i andre regioner. Selskaper utvikler markeder med aktører i andre regioner i Norge og globalt, og forskningsmiljøene samarbeider med internasjonale partnere. Derfor bør Trøndelag ses som en del av et større innovasjonssystem både nasjonalt og globalt. Gode relasjoner med aktører utenfor Trøndelag er nødvendig, ikke minst fordi de viktigste aktørene i internasjonale flybransjen (flyprodusentene og flyselskapene) er utenlandske. Aktiviteter innen grønn luftfart i resten av Norge vil også kunne bidra til næringsutviklingen og kompetansebygging i Trøndelag som det viktigste teknologi- og forskningsmiljøet i landet. Regionen kan bli spesielt viktig i enkelte nisje-områder, for eksempel innen elektrisk fremdrift og hurtigladeløsninger.

Det er derimot tvilsomt at kortbanenettet i Norge er et tilstrekkelig stort marked for at flyprodusentene vil prioritere utslippsfrie fly (batteri-elektriske) som kun kan trafikkere på dette nettet. Store flyprodusentenes (som Airbus) investerer heller i større og mer langtrekkende fly. For eksempel, ReFuelEU Aviation initiativ i EUs "fit for 55" pakken og USA har uttrykt at deres politiske tiltak fokuserer på SAF fordi det vurderes som en mer realistisk nullutslippsløsning på kort sikt (EPRS, 2022, The White House, 2021). En ser likevel at satsingen på fly med kort rekkevidde og få passasjerer gir viktige bidrag til teknologiutviklingen for større og mer langtrekkende fly med mer utslipp, og blir en nødvendig del av teknologiutviklingen. Slike fly har også andre bruksområder. AVINOR og Luftfartstilsynet (2020) foreslår at privat flygning og pilotopplæring er mulige markeder for elektrisk fly, samt kommersielle korte flygninger i f.eks. Sverige, Skottland, nordvestlige USA, og øystater i Karibien, Stillehavet, osv. Også ulike type hybrider kan skape muligheter for leverandører. Når flyene kommer i operativ drift, vil en sannsynligvis også se nye trafikkmønstre ved at en velger fly i stedet for andre transportformer siden det er et raskt og utslippsfritt alternativ.

Vår kartlegging har pekt på flere politiske tiltak for videre utvikling av grønn luftfart i Norge, og i Trøndelag spesielt. Mange av tiltakene er allerede nevnt i den nye Luftfartstrategien (Regjeringen, 2023). Infrastrukturbygging og -testing ved flyplasser vil kreve ekstra midler fra staten. F.eks. har Pilot-E vært et viktig program for å fremme utvikling av nullutslippsløsninger på tvers av hele verdikjeden i maritim sektor. I tillegg trengs det også mer grunnleggende kunnskap om grønn luftfart. I dag mangler det dedikerte

forskningsmidler til luftfartsforskning i Norge. Et eget forskningsprogram innen grønn luftfart er derfor viktig for styrke innsatsen til norske forskningsmiljøer på dette feltet (3). Den nye Nasjonale luftfartstrategien (Meld. St. 10, 2022-2023) bekrefter at etableringen av "senter for klimanøytral regional luftfart i Norge" planlegges (Regjeringen, 2023). Denne satsingen bør være tverrfaglig og omfatte forskning på teknologiske spørsmål som materialvekt og IKT-systemer, sosio-tekniske problemstillinger knyttet til mulige endringer i reisevaner og spørsmål om hvordan nye verdikjeder kan bygges i stor skala. Det er samtidig behov for krav om utslippsreduksjon på FOT-ruter som en måte å skape de første nisjemarkedene for nullutslippsløsninger, gitt at slike nisjer kan være sentrale for videre utvikling av marked, kunnskap og nye næringer generelt.



Illustrasjon: Petmal / istockphoto

Når det gjelder videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag, understreker mange respondenter viktigheten av å ha et helhetlig bilde av utviklingen av hele verdikjeden, og hvordan man bør utvikle koplinger mellom aktører. Utviklingen av grønn luftfart preges av usikkerhet på flere områder, både teknologisk, markedsmessig og politisk. Dette kjennetegnes av: (1) usikkerhet om hvilke teknologiske retninger næringen vil ta (batterier, batteri-hydrogen, eller/og SAF), (2) usikkerhet om når de første grønne flyene kan være i kommersiell bruk på hvilke ruter og under hvilke forutsetninger, og (3) usikkerhet om hvordan regelverket og politiske tiltak vil utvikle seg. Mens utviklingen er påvirket av internasjonale og nasjonale selskaper og myndigheter, er det også mulig å ta lokale initiativ i Trøndelag for å utvikle grønn luftfart. Tre faktorer kan være viktige for å forstå hvordan videre utviklingen av grønn luftfart verdikjede kan støttes (Mäkitie et al., 2022).

For det første, gitt at grønn luftfart er et helt nytt teknologiområde så mangler en kommersiell verdikjede som spenner seg helt fra produksjonen av nytt drivstoff til flyselskaper som tilbyr grønne flyturer til sluttbrukere. Dette er en sentral og avgjørende utfordring for realisering og vekst av grønn luftfart hvor hele verdikjeden må utvikles samtidig for å unngå flaskehals og "høna eller egget"-utfordringer, hvor ulike aktører eller verdikjedeselementer venter på hverandre. Det betyr for eksempel at utrulling av elektriske fremdriftssystemer er avhengig av tilgjengeligheten av battericeller for batteripakkeproduksjon, elektriske fly er avhengig av hurtigladeinfrastruktur, ladeinfrastruktur er avhengig av kraftnettets evne til å levere nok elektrisitet for fly, osv. Manglende utvikling eller kunnskap i et verdikjedeselement kan påvirke viljen til å investere ressurser i grønn luftfart i andre deler av verdikjeden. Koordinering og samarbeid på tvers av hele verdikjeden er derfor nødvendig for en synkronisert utvikling av grønn luftfart i Trøndelag. Det er behov for initiativer og aktører med et helhetlig bilde av grønn luftfart i Trøndelag, med mål om å etablere samarbeid på tvers av verdikjeden i regionen. Formelle nettverk, som klyngeorganisasjoner, kan ta rollen som en "mellomromsaktør", og bidra til å vekke interesse blant potensielle aktører i regionen. Videre vil de kunne legge til rette for kompetanseheving, koordinering og interaksjon rundt viktige spørsmål, og dermed bidra til å dempe usikkerhet rundt teknologier og markeder. Et nytt nettverk eller initiativ vil for eksempel kunne fokusere på et konkret mål som etableringen av en nullutslippsflyrute i Trøndelag innen 2028, og derigjennom bidra til raskere realisering av grønn luftfart og videre næringsutvikling i regionen. Det finnes i dag et nasjonalt initiativ, Grønt luftfartsprogram Norge. Dette programmet har som ambisjon å skape et nettverk på nasjonalt nivå og vil være avhengig av de regionale aktivitetene og nettverkene. Dersom det ikke finnes regional aktivitet og nettverk vil det være utfordrende å ta del i den nasjonale aktiviteten.

For det andre er oppskaleringspotensialet for nullutslippsløsninger viktig for utviklingen av grønne luftfartsruter og -næringen i Trøndelag. Det betyr at forventningene til markedsmuligheter for de ulike løsningene i grønn luftfart må være store nok til å oppmuntre til investeringer, for eksempel når det gjelder produksjonskapasitet. Grønn luftfart må også ha tilgang til (rimelig nok) drivstoff (elektrisitet, hydrogen, SAF) for å kunne vokse til å bli et reelt alternativ til konvensjonelle drivstoff. Tilgangen til nok alternativt drivstoff i regionen er viktig forutsetning for grønne fly i Trøndelag. Engasjement fra både offentlige og private aktører er nødvendig. Kraftprodusenter må sørge for at det er tilstrekkelig kraftproduksjon til å holde energiprisene lave, og nettselskapene (primært Tensio) har en viktig rolle i å sørge for at nettet kan tåle høyere etterspørsel fra luftfartsverdikjeden. Videre så vil mulige investeringer i produksjonskapasitet for SAF og hydrogen også representere økte energibehov. Med andre ord så er veksten i grønn luftfart i Trøndelag avhengig av at den lokale verdikjeden kan forsyne og eventuelt lagre energi for den ønskede veksten. Bedre forståelse om fremtidens behov og forutsetninger for trøndersk grønn luftfart kan for eksempel oppnås nå gjennom en energigivekartanalyse, som kan bidra til å redusere usikkerhet og muliggjøre beslutningstaking på et mer informert grunnlag.

For det tredje er omstillingen mot grønn luftfart tett koblet på energiomstillinger i andre sektorer, noe som kan bidra til videre utvikling i Trøndelag. Mens Norge mangler en sterk luftfartsnæring, er den største fordel ved utviklingen av grønn luftfart i Trøndelag at det allerede finnes eksisterende kunnskap- og næringsmiljøer med høy kompetanse i relaterte energiteknologiområder, slik som i maritim sektor. Grønn luftfart representerer spennende diversifiseringsmuligheter for selskaper som Rolls-Royce Electrical Norway og Siemens. Samtidig kan hydrogen- og biodrivstoffprodusenter finne mulige nye markeder for deres produkter, mens forskere ved NTNU og SINTEF kan bruke eksisterende kunnskap i nye og spennende

anvendelsesområder. Med andre ord så kan synergier mellom luftfart og andre sektorer bidra til verdikjede- og kompetansebygging i grønn luftfart. Samtidig må eksisterende kompetanser og teknologier tilpasses til luftfart. For eksempel er vekt og sikkerhet knyttet til energiløsninger enda viktigere forutsetninger i luftfart enn innen sjøfart. Derfor er det et behov for tiltak for å videreutvikle eksisterende energikompetanse i Trøndelag i retning av luftfart-spesifikk kompetanse, for eksempel gjennom testarenaer eller utviklingskontrakter i regionen. Synergier med andre sektorer kan også utvikles gjennom konseptet "energiknutepunkt", hvor markedsusikkerhet dempes og stordriftsfordeler oppnås gjennom forsyning av nye drivstoff (som hydrogen) til flere typer bruk, for eksempel andre transportformer, i det samme området. Samtidig kan et mulig forskningsprogram innen grønn luftfart være en stor mulighet for videre utvikling av energiteknologimiljøet i Trondheim.



Foto: Smidesang & Lyng / SINTEF

Vi oppsummerer denne rapporten med forslag til tiltak som kan støtte videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag, for å bringe grønn luftfart i regionen fra teori og tenkning til konkrete handlinger og aktiviteter.

- 1. Samle det regionale grønne luftfartsmiljøet under et felles initiativ.** Videreutvikling av miljøet rundt grønn luftfart igjennom et dedikert initiativ eller en ny organisasjon - "Nettverk for grønn luftfart i Trøndelag" – som snakker Trøndelags sak, og bidrar til tettere samarbeid mellom aktørene i regionen. Dette kan gjøres på ulike måter. En kan bygge på en allerede etablert klynge, som RENERGY, eller en kan etablere en helt ny klyngeorganisasjon. Dette vil videreføre ideen bak Luftfart

2023 "Trøndelag som motor i det grønne skiftet" konferansen på Hell (1.3.2023), engasjere flere regionale aktører og være bindeleddet mot nasjonale og internasjonale satsinger.

2. **Samarbeid på tvers av verdikjeden for å etablere minst en grønn luftfartsrute innen 2030.** Grønn luftfart i regionen preges av usikkerhet om når grønne flyruter etableres. Det trengs derfor konkrete og felles mål for de første grønne flyrutene. Testing og innhenting av praktiske erfaringer er viktig for å kunne nå målene på sikt. Et konkret mål forutsetter at alle sentrale aktører er villige til å bidra for å nå målet. Nettverket foreslått under punkt 1 kan være et viktig tiltak for å koordinere et slikt samarbeid, og etableringen av en prioritert liste med ønskede grønne ruter vil bidra til at hele regionen er forberedt.
3. **Etablere et forskningsprogram dedikert til grønn luftfart for å videreutvikle det teknologiske miljøet i regionen.** Regjeringens luftfartstrategi utforsker muligheter for mer dedikerte midler til forskning på grønn regional luftfart. Det er derfor viktig for Trøndelag å ta en sentral rolle i et mulig nasjonalt program. NTNU og SINTEF bør ha et viktig ansvar i dette programmet. I tillegg, videre satsinger i f.eks. utbygging av test- og lab-infrastruktur, egnede trafikkruter og muligheter til å koble regionalt næringsliv og industri på prosessene er viktig. Regional finansiering vil kunne bidra til å etablere pilotprosjekter og mulighetsstudier som igjen vil posisjonere regionen til å være kvalifisert til finansiering dersom et nasjonalt program etableres.
4. **Videreutvikle det allerede sterke teknologiske miljøet rundt lokale løsninger for lading og kraftforsyning.** Både Siemens og Rolls-Royce Electrical Norway er viktige industriaktører innen grønn luftfart, og Trøndelag har en unik mulighet til å bli en viktig leverandør og testarena for lokale løsninger for lading og kraftforsyning. Dette nisje-markedet innen grønn luftfart representerer derfor en stor mulighet for Trøndelag til å posisjonere seg også på internasjonale markeder med disse løsningene.
5. **Kartlegge behov, og etablere infrastruktur for grønn luftfart på flyplasser i Trøndelag.** Tilrettelegging av infrastruktur er en forutsetning for flyselskaper for å investere i grønne fly. AVINOR og nettselskapene har derfor en viktig rolle i grønn luftfart. Tett samarbeid med leverandører av infrastruktur/løsninger er viktig, og Trøndelag har et naturlig fortrinn gitt den sterke energiteknologinæringen i regionen. Flyplassene i regionen har dermed mulighet til å ta en posisjon som internasjonalt foregangsmiljø gjennom utrulling av bærekraftig infrastruktur for grønn luftfart. Det vil sannsynligvis være behov for statlige midler for tilrettelegging av en slik utvikling.
6. **Legge til rette for lokal produksjon av grønt flydrivstoff i Trøndelag.** Etterspørsel etter elektrisitet, SAF og hydrogen åpner muligheter for ulike selskaper i regionen i fremtiden. I tillegg er tilgjengelighet til disse energikilder en viktig forutsetning for at grønne flyruter skal etableres. Det er derfor behov for samarbeid på tvers av verdikjeden, f.eks. gjennom felles prosjekter mellom flyselskaper og drivstoffprodusenter for å redusere usikkerheten rundt tilgjengelighet og markedsbetingelser for grønt flydrivstoff.

Appendiks: Intervjuene

Tabell 2 Intervjuliste (gjennomført over Microsoft Teams i februar 2023).

Nummer	Organisasjon
1	Renergy
2	Fremtidens Industri
3	Commutator AS
4	Siemens Smart Infrastructure
5	Rolls-Royce Electrical Norway
6	AVINOR Værnes
7	Luftfartforum Trondheim Lufthavn Værnes
8	SINTEF Energi, energibærer og energisystemer
9	SINTEF Energi, SAF
10	SINTEF Industri
11	NTNU

Tabell 3 Intervjuspørsmålene.

	Spørsmål
1	Kan du beskrive aktivitetene deres innen grønn luftfart?
2	Hvem er deres viktigste samarbeidspartnere innen grønn luftfart, og hvordan jobber dere sammen?
3	Hvilke andre aktører er viktige for videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag? Hvordan?
4	Hvilke aktører er ikke aktive i dag, men kan være viktige for utviklingen av grønn luftfart i fremtiden?
5	Hvorfor er Trøndelag en god region for å utvikle grønn luftfart?
6	Hva er driverne for utvikling av grønn luftfart i Trøndelag?
7	Hva er barrierer og utfordringer for videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag?
8	Hvilke muligheter skaper grønn luftfart for næringslivet i Trøndelag?
9	Hvordan kan myndighetene eller andre aktører legge til rette for videre utvikling av grønn luftfart i Trøndelag?
10	Er det andre ting i forbindelse til grønn luftfart i Trøndelag du vil trekke frem?

Referansene

- AVINOR & LUFTFARTSTILSYNET 2020. Forslag til program for introduksjon av elektrifiserte fly i kommersiell luftfart.
- BAKKEN, T. & IVERSEN, T. O. 2020. Bærekraftig luftfart Trondheim kommune. *SINTEF Report*. Trondheim.
- BERGEK, A., JACOBSSON, S., CARLSSON, B., LINDMARK, S. & RICKNE, A. 2008. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37, 407-429.
- BINZ, C. & TRUFFER, B. 2017. Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. *Research Policy*, 46, 1284-1298.
- COMMUTATOR AS 2021a. Kunnskapsgrunnlag og forslag til delstrategi luftfart for Trøndelag.
- COMMUTATOR AS 2021b. Nullutslippsløsninger for regionale flyruter. En forenklet utredning.
- E24. 2022. *Enova gir milliardstøtte til hydrogen* [Online]. Available: <https://e24.no/det-groenne-skiftet/i/v5q0xl/enova-gir-milliardstoette-til-hydrogen> [Accessed 20.2.2023].
- EPRS 2022. ReFuelEU Aviation initiative. Sustainable aviation fuels and the 'fit for 55' package. In: SERVICE, E. P. R. (ed.) *Briefing. EU Legislation in Progress*.: European Parliament.
- HANSEN, T. & COENEN, L. 2015. The geography of sustainability transitions: Review, synthesis and reflections on an emergent research field. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 17, 92-109.
- MUSIOLIK, J. & MARKARD, J. 2011. Creating and shaping innovation systems: Formal networks in the innovation system for stationary fuel cells in Germany. *Energy Policy*, 39, 1909-1922.
- MÄKITIE, T., HANSON, J., STEEN, M., HANSEN, T. & ANDERSEN, A. D. 2022. Complementarity formation mechanisms in technology value chains. *Research Policy*, 51, 104559.
- NRK. 2020. *Fiskeavfall og kvist kan bli flydrivstoff* [Online]. Available: <https://www.nrk.no/trondelag/biogassfabrikken-i-skogn-onsker-a-gjore-fiskeavfall-til-flydrivstoff-1.14853261> [Accessed 20.2.2023].
- NRK. 2023. *Hver dag går det 44 flygninger mellom Oslo og Trondheim* [Online]. Available: <https://www.nrk.no/klima/hver-dag-gar-det-44-flygninger-mellom-oslo-og-trondheim-1.16252985> [Accessed 20.2.2023].
- REGJERINGEN 2023. Bærekraftig og sikker luftfart— Nasjonal luftfartsstrategi. In: SAMFERDSELSDEPARTEMENTET (ed.).
- SSB 2023a. 07410: Avvirkning av industrivirke for salg, etter sortiment (1 000 m³) 2006 - 2022.
- SSB 2023b. 08940: Klimagasser, etter utslippskilde, energiprodukt og komponent 1990 - 2021.
- TENSIO. 2022. *Trenger tiltak for raskere elektrifisering* [Online]. Available: <https://tensio.no/aktuelt/trenger-tiltak-for-raskere-elektrifisering> [Accessed 17.2.2023].
- THE WHITE HOUSE. 2021. *FACT SHEET: Biden Administration Advances the Future of Sustainable Fuels in American Aviation* [Online]. Available: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/09/fact-sheet-biden-administration-advances-the-future-of-sustainable-fuels-in-american-aviation/> [Accessed 27.2.2023].
- YDERSBOND, I. M., KRISTENSEN, N. B. & THUNE-LARSEN, H. 2020. Nordic Sustainable Aviation. Nordic Council of Ministers.
- YRKESBIL. 2021. *Full gass mellom Trondheim og Oslo* [Online]. Available: <https://www.yrkesbil.no/biogass/full-gass-mellom-trondheim-og-oslo/166085> [Accessed 2023].