



SINTEF

Strategi for bærekraftig luftfart

Teknologi for et bedre samfunn

Strategi for bærekraftig luftfart

Denne strategien beskriver de viktigste forskningsutfordringene for norsk luftfartsindustri i åra framover, og skal støtte opp om et nytt norsk senter for bærekraftig luftfart. Dokumentet er sammenstilt med innspill fra en rekke fagmiljø i SINTEF. Kontaktpersoner er oppgitt for hvert definerte forskningsområde.

Redaksjon:

Ida Hjorth
Erlend Grytli Tveten
Ole Christian Spro

	Sammendrag	5
	Bakgrunn og utfordringer	
	Luftfartens utfordring	6
	Veien mot 2050 - Et paradigmeskifte innen luftfart	8
	Dagens situasjon for luftfarten i Norge	10
	EU og internasjonalt samarbeid for bærekraftig luftfart	12
	Forskning og infrastruktur hos SINTEF.....	16
	Tematiske områder	
	1 Nye energibærere	23
	Syntetiske drivstoff og biodrivstoff	24
	Batterier	26
	Hydrogen.....	30
	2 Framdriftssystem.....	31
	Elektrisk drivlinje	32
	Hydrogendrevne fly.....	34
	3 Framtidas digitale fly.....	37
	Sensorsystemer	38
	Digital tvilling	40
	Produksjon med lettvektsmaterialer.....	42
	4 Trygt luftrom.....	45
	Luftbårne droner og urban lufttransport	46
	Sikker og effektiv trafikkavvikling	48
	5 Grønne og bærekraftige lufthavner	51
	Infrastruktur for lading og fylling	52
	Energisystem for utslippsfri lufthavn.....	54
	6 Luftfartens samfunnsrolle	57
	Samfunnsaksept	58
	Sikkerhet og pålitelighet	60
	Grønn omstilling	62



Denne strategien er utarbeidet med Covid-19-pandemiens usikkerhet rundt luftfart som bakteppe. Selv om noen endringer i trafikkmønster etter pandemien må forventes, blant annet knyttet til økt digitalisering i arbeidslivet, er den generelle oppfatningen blant luftfartsaktører at man vil se en normalisering av flytrafikken innen to-tre år etter pandemiens slutt. Myndigheter både nasjonalt og i EU står beredt til å støtte opp om en nødvendig grønn omstilling i luftfartsbransjen, og målet om klimanøytralitet innen luftfart i 2050 står fast til tross for den betydelige trafikknedgangen i 2020-21.

Sammendrag

Den teknologiske utviklingen innen transportsektoren, både i Norge, i Europa og globalt, vil i årene framover være sterkt preget av de globale målsettingene om kraftige kutt i klimagassutslipp. For luftfarten er dette ensbetydende med en storskala innfasing av null- og lavutslippsløsninger både for fly og lufthavner, med endelig mål om å gjøre luftfarten utslippsfri innen 2050. Teknologiske løsninger for å nå nullutslipp i luftfart er ikke kommersielt tilgjengelige i dag, og vil derfor kreve forskning, utvikling og innovasjon innen en rekke tverrfaglige og grensesprengende områder.

Utviklingen mot bærekraftig luftfart er påvirket av sterke teknologiske og samfunnsmessige drivere som elektrifisering, digitalisering, utvikling av hydrogen-samfunnet, og FNs bærekraftsmål. Luftfarten stiller ekstreme krav til sikkerhet og pålitelighet, og all ny luftfartsteknologi må gjennom et strengt testregime før den kan sertifiseres og tas i bruk kommersielt.



Å skape en bærekraftig luftfartsindustri er en krevende utfordring som ikke kan møtes med én enkelt teknologisk løsning. SINTEF har verdensledende kompetanse innen en rekke områder som vil være viktige for utviklingen av framtidens bærekraftige luftfart, og står beredt til å bistå norske og internasjonale industriaktører til å utvikle ny luftfartsteknologi og bidra til at norske selskaper kan ta betydelige internasjonale markedsandeler i årene framover. SINTEF jobber tett på beslutningstakere og regulerende myndigheter både nasjonalt og gjennom europeiske partnerskap for å forme morgendagens luftfartsteknologi for et bedre samfunn.

Med dette strategidokumentet har SINTEF som målsetting å posisjonere sin brede ekspertise inn mot utvikling av framtidens bærekraftige luftfartsteknologi. Strategien skal støtte opp om et nytt nasjonalt senter for bærekraftig luftfart gjennom å definere prioriterte forskningsområder. Dokumentet presenterer en omverdensanalyse som inkluderer status for luftfartsbransjen i Norge per 2. kvartal 2021, muligheter for norsk verdiskaping, samt hvordan norske industriaktører, FoUI-sektoren og myndigheter er posisjonert for å bidra til å løse de store teknologiske og samfunnsmessige omveltningene luftfarten står overfor de neste 30 årene.



Luftfartens utfordring

Parisavtalen og krav om kutt i klimagassutslipp

FN har gjennom Parisavtalen satt strenge klimakrav for å begrense den globale temperaturøkningen til under 2 grader i 2050. Norge og 188 andre land har forpliktet seg til å begrense oppvarmingen til 1,5 grad. I sin sjette hovedrapport¹⁾ advarer FNs klimapanel om at det haster å gjennomføre de nødvendige utslippskuttene for å unngå de mest alvorlige konsekvensene.

Klimakravene får store konsekvenser for transportsektoren. Flere transportmåter, for eksempel veitransport, har startet skiftet mot utslippsfrie alternativ, mens luftfarten ser ut til å være en av de mest krevende bransjene for grønn omstilling. Dette skyldes blant annet strenge krav til vekt, energitetthet, sikkerhet og sertifisering for ny luftfartsteknologi, noe som fører til lange innovasjonssykluser.

Gjennom European Green Deal²⁾ har EU satt mål om å gjøre Europa til et klimanøytralt lavutslippssamfunn innen 2050, og de nasjonale klimamålene³⁾ i Norge speiler i stor grad EUs ambisjoner. For luftfarten er utslippsmålene ensbetydende med en massiv grønn omstilling av både flyteknologi og infrastruktur, fra dagens fossildrevne flåter til lav- og nullutslippsløsninger som er tilgjengelige for folk flest. Denne omstillingen må skje samtidig som man ivaretar strenge krav om stadig bedre sikkerhet og pålitelighet for alle nye konsepter som skal opp i luften.⁴⁾

Utslipp fra luftfarten

I dag (2019) står luftfarten for 2,5% av de samlede globale utslippene av CO₂, og 5,5% av utslippene i Norge.⁵⁾

Hvis man inkluderer ikke-CO₂ effekter,* som også bidrar til global oppvarming, utgjør luftfartens bidrag til global oppvarming mer enn CO₂-utslippene alene skulle tilsi: 2/3 av klimapåvirkningen fra luftfart kommer fra andre typer utslipp enn CO₂.⁶⁾

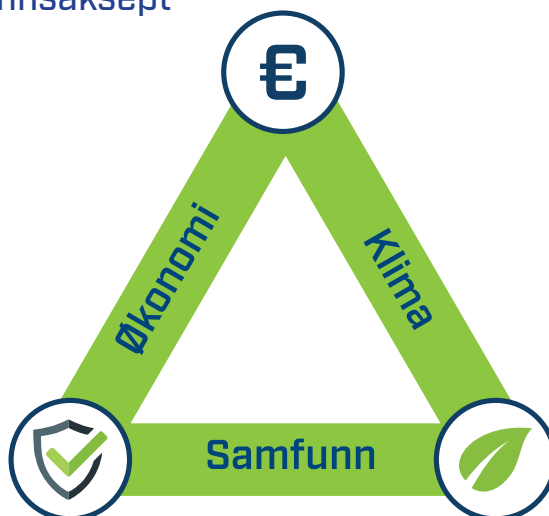
Innad i luftfarten er utslippsmengdene ujevnt fordelt mellom ulike typer fly. Størsteparten av utslippene i luftfarten (se tabell) kommer

fra flyruter som opereres av kort- og mellomdistansefly, eksempelvis Boeing-737.

Andel CO₂-utslipp fra ulike segmenter i luftfarten⁷⁾

Klasse	Andel av CO ₂ -utslipp	Andel av global flåte
Småfly	< 1 %	4 %
Regionsfly	3 %	13 %
Kortdistansefly	24 %	53 %
Mellomdistansefly	43 %	18 %
Langdistansefly	30 %	12 %

Sikkerhet og samfunnsaksept



En forutsetning for å lykkes med bærekraftige endringer i luftfarten er at sikkerheten ivaretas. Ved innføring av ny teknologi vil nye risikomomenter kunne oppstå. En forståelse av hva disse innebærer, hvorfor de inntreffer, og god kommunikasjon rundt løsningene, er svært viktig for å nå målene om utslippsfri luftfart. Luftfarten er avhengig av et høyt tillitsnivå hos de reisende. Fly og lufthavner har liten aksept for feilhendelser, og ny teknologi må derfor gjennom lange test- og godkjenningfaser. Dette er rutiner som må utvikles og ytterligere forbedres i møte med luftfartens grønne skifte. Der hvor økt automatisering tar over oppgaver tidligere gjort av mennesker kreves det også grundig arbeid rundt sikkerhetsrutinene, spesielt med tanke på hvordan teknologien kommuniserer med ansvarshavende og hvordan mennesket håndterer uregelmessigheter.

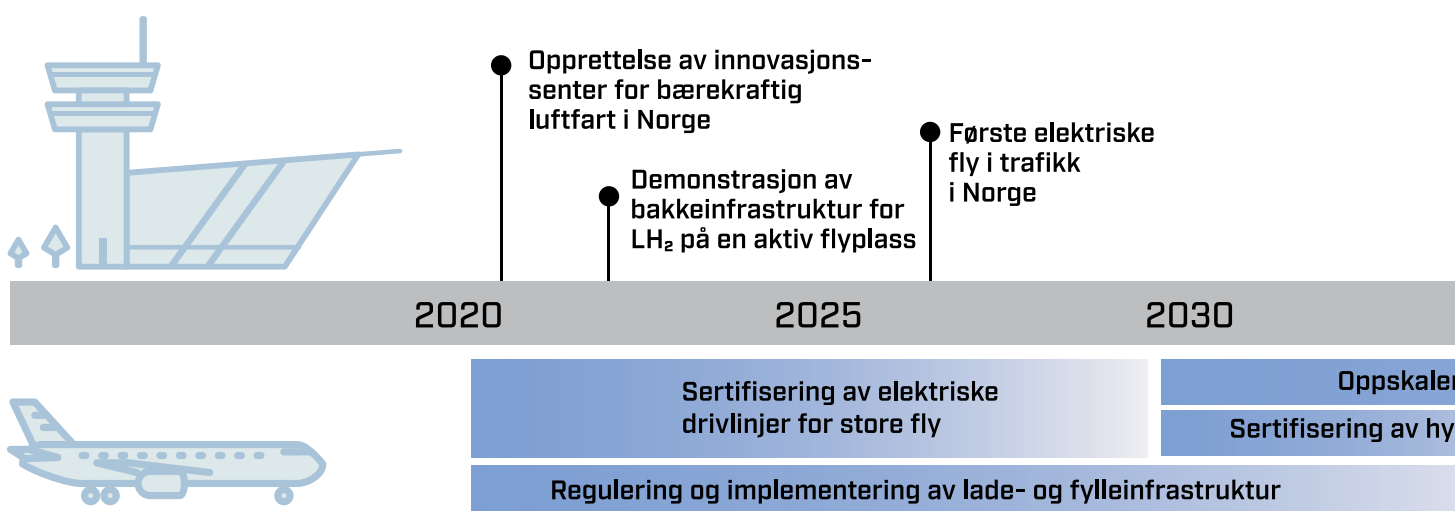
* Ikke-CO₂-utslipp: Disse inkluderer blant annet utslipp av NOx i høyere luftlag, og contrail-cirrus som dannes ved at vandamp krystalliserer på sotpartikler fra forbrenningen av hydrokarboner

En næring i endring

Luftfarten har i lang tid hatt en særstilling i Norge ved å knytte folk og næringsliv effektivt sammen i et langstrakt land. Internasjonalt har trenden for passasjertrafikk i lufta vært jevnt økende helt fram til 2020.

Covid-19-pandemien har på kort sikt ført til enorme konsekvenser for luftfarten både for innenlands- og utenlandstrafikk. Restriksjoner på utenlandsreiser, nedstenging av samfunnet og økende grad av digitalisering av arbeidslivet har gitt drastiske reduksjoner i antall passasjerer, og fører med seg store usikkerheter rundt økonomien for alle aktører i luftfarten. Selv om de langsiktige konsekvensene for det globale trafikkmønsteret etter Covid-19 er vanskelige å spå, er den generelle forventningen at det vil gå mot en normalisering av flytrafikken i løpet av 2024,⁸⁾ med fortsatt forventet betydelig økning i trafikkveksten i tiårene framover.

Det er også flere som tar til orde for å bruke unntakstilstanden under pandemien som et springbrett for å akselerere utviklingen av nye og bærekraftige løsninger for luftfarten.⁹⁾ Luftfartsindustrien har strategisk viktighet i Norge og flere andre land, både med tanke på nasjonal sikkerhet og som en viktig sysselsetter, og bransjen har stått høyt på prioriteringslista i de økonomiske redningspakkene til flere viktige luftfartsnasjoner. På lengre sikt kan ny digital flyteknologi, krav om nullutslippsframdrift og endrede reisevaner både lokalt og globalt tvinge luftfartsindustrien til å utvikle nye forretningsmodeller og nye typer flåter, lufthavner, trafikkstyring og infrastruktur.



Veien mot 2050 - Et paradigmeskifte innen luftfart

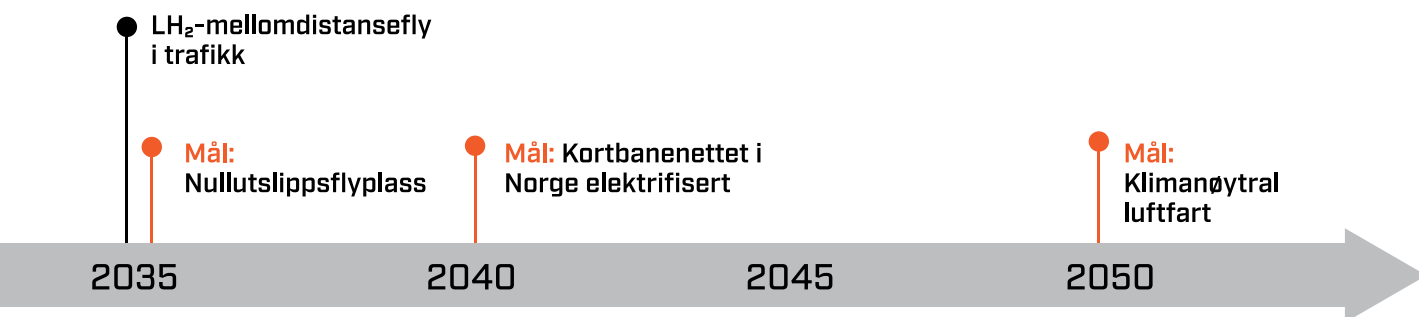
Utviklingen av nye og utslippsfrie løsninger over et bredt og tverrfaglig område som luftfarten, kan med rette sies å representere et paradigmeskifte for luftfartsindustrien. Den teknologiske utviklingen som kreves for å nå målet om bærekraftig og utslippsfri luftfart kan grovt sett deles inn i tre overordnede strategiske plattformer med delvis overlappende målsettinger:

- En oppgradering av dagens flåte til ultraeffektive og automatiserte fly med forbrenningsmotorer drevet av bærekraftig og CO₂-nøytralt drivstoff.
- Utvikling av hel- og hybrid-elektriske fly drevet av batterier og/eller H₂-brenselceller.
- Radikal innovasjon ved å utvikle hydrogendrevne fly med flytende hydrogen* (LH₂) som drivstoff i brenselceller eller forbrenningsmotorer.

Disse plattformene har forskjellige styrker, svakheter og teknologisk modenhet og utelukker ikke hverandre siden ulike segmenter av luftfarten sannsynligvis vil ta i bruk ulike teknologiske løsninger. Alle plattformer vil imidlertid kreve en omlegging av infrastrukturen på flyplasser, nye og sikre systemer for bedre kontroll og overvåking av luftrommet, spesielt i byområder med økende urban lufttransport*, samt forsyningslinjer som trygt og effektivt kan produsere og levere nye energibærere til en moderne flåte. Sett fra dagen situasjon, er det flere teknologiske trender som vil være viktige i tiårene frem mot 2050:

Alle veier til bærekraftig luftfart krever

- En omlegging av infrastrukturen ved lufthavner
- Nye og sikre systemer for bedre kontroll og overvåking av luftrommet
- Nye forsyningslinjer som trygt og effektivt kan levere nye energibærere



ring av produksjon av energibærere (batteri, SAF, H2)

drogenfly

* **Flytende hydrogen:** LH₂ (Liquid hydrogen) har en temperatur på -253OC, og benyttes i dag blant annet i flere forskjellige oppskytingsfartøy for romfart.

* **Urban lufttransport:** UAM (Urban air mobility) refererer til systemer for lokal lufttransport i urbane strøk med småfly eller droner, f.eks. vareleveranser, overvåking av kritiske samfunnsfunksjoner, og drone-taxier.

Bærekraftig drivstoff i moderne, ultraeffektive fly

Økt bruk av bærekraftig drop-in / e-fuels drivstoff^{*} er en viktig strategi som er ventet å kunne gi betydelige utslippsreduksjoner i luftfarten de neste tiårene, før elektriske og/eller hydrogendrevne framdriftssystemer blir kommersielt tilgjengelige og teknologisk modne nok til å spille en signifikant rolle. I dag står Sustainable Aviation Fuels (SAF^{*}) for <0.1 % av det totale forbruket av flydrivstoff i EU. Produksjon av e-fuels er svært energikrevende, og opprinnelsen av primærenergien vil avgjøre om drivstoffet kan karakteriseres som bærekraftig, jfr. EUs taksonomi. Uten styrking av tiltak for å øke produksjon og forbruk, vil SAF utgjøre 2.8 % av drivstofforbruket i 2050 ifølge EU.¹⁰⁾ Den forholdsvis lave graden av iblanding skyldes blant annet utfordringer knyttet til lav tilgjengelighet, høye kostnader i forhold til fossil energi, og barrierer relatert til godkjenning av nye drivstoff. På relativt kort sikt kan effektiv lufttrafikkledelse også bidra til å redusere utslippene fra luftfarten gjennom å etablere grønne flykurver, hvor flyene tillates å fly den mest optimale og drivstoffeffektive ruten.

Elektriske og hybride fly

Fokuset på økt elektrifisering fører allerede i dag til ambisjoner om at ikke-framdriftsrelaterte funksjoner i moderne fly i stor grad skal leveres av elektriske systemer.^{*} I hel-elektriske fly er også drivlinjen elektrisk, og framdrift leveres av kraftige elektromotorer drevet av batterier. Batteri-elektriske drivlinjer er en forholdsvis moden nullutslippsteknologi i transportsektoren generelt.

Innen luftfart er det allerede demonstrert og tatt i bruk slike drivlinjer i mange småflykonsepter og droner, men produktutviklingen er ennå i en tidlig fase og det gjenstår fortsatt å vise driftssikkerhet over lang tid og i stor skala. Den største utfordringen for elektrisk luftfart i dag er fortsatt knyttet til sikkerhet, men også batterienes høye egenvekt og lave energitetthet er fysiske barrierer som gjør at rene batteri-elektriske drivlinjer ikke anses som realistiske alternativ for fly over en viss størrelse. Den høye effektiviteten og påliteligheten til elektriske drivlinjer generelt taler imidlertid for at også større passasjerfly vil bli drevet av hybrid-elektriske framdriftssystem i fremtida, hvor elektriske motorer kombineres med forbrenning av SAF eller hydrogen under energikrevende deler av flyvningene, som under take-off og klatring.

Hydrogenfly^{*}

Hydrogen har seilt opp som en mulig utslippsfri løsning, også i luftfarten. Hydrogenøkonomien i andre sektorer har satt fart, og lykkes man med en storskala implementering vil prisen på grønt hydrogen være konkurransedyktig med fossilt drivstoff innen 2050.¹⁰⁾ En overgang til hydrogen vil også kunne kutte ikke-CO₂-utslipp fra luftfarten, som står for en majoritet av klimapådrivet fra sektoren.

Airbus og samarbeidspartnere annonserte i 2020 en ny satsing på hydrogen som drivstoff for fly. Airbus har som mål å ha markedsklare fly som drives av LH₂^{*} i 2035, og retter i første omgang sin innsats mot kort- og mellomdistanse-segmetet.

^{*} **Drop-in fuels, SAF og e-fuels:** SAF (Sustainable Aviation Fuels) er drivstoff som er kompatibelt med forbrenning i dagens flymotorer og kan mikses (drop-in) direkte med jet-fuel/kerosen i en blanding. Drop-in drivstoff kan deriveres fra biomasse og-avfall eller produseres ved hjelp av andre energikilder (e-fuels), for eksempel gjennom konvertering av CO₂ fra fornybar elektrisitet.

^{*} **Hydrogenfly:** Ble først demonstrert i 1988, da russiske Tupolev fløy et ombygd kort/mellomdistansefly, hvor 1 av 3 motorer gikk på flytende hydrogen (LH₂). Mangel på infrastruktur for LH₂ på flyplasser verden over, samt den høye kostnaden for LH₂, er oppgitt som viktige årsaker til at det stoppet der.

^{*} **More electric aircraft:** Inkluderer konsepter for å gjøre ikke-framdriftsrelaterte funksjoner i fly elektriske. Hovedfunksjonen til en APU (Auxiliary Power Unit) i et fly er til start av motorene, men brukes også på bakken til forsyning av elektriske, hydrauliske og pneumatiske systemer, samt til nødoperasjoner i lufta. - i kapittel batterier.

Hydrogenets relativt høye energi per vektenhet og nullutslipp ved forbruk er viktige drivere bak dette teknologivalget. I tillegg forventes det at kostnaden for hydrogenfly etter hvert vil bli konkurransedyktig med e-fuels på visse segmenter i luftfarten.⁷⁾

Både direkte bruk av hydrogen i forbrenningsmotorer og elektriske drivlinjer drevet av hydrogen-brenselceller er aktuelle framdriftssystemer for kommersielle passasjerfly, men krever i de fleste tilfeller et betydelig redesign av flykroppen for å inkludere et tilstrekkelig volum av (L)H₂-tanker. De siste årene har flere brenselcelle-drevne hydrogensmåfly med 2-6 seter blitt demonstrert i Europa, der energibehovet er lite nok til å kunne dekkes av hydrogengass lagret under høyt trykk. Tilgjengelighet av LH₂-infrastruktur verden over er imidlertid fortsatt et stort hinder for storskala implementering av hydrogen-løsninger.

Energitilførsel og infrastruktur ved lufthavner

Framtidens fly vil være drevet av bærekraftig biodrivstoff, e-fuels, hydrogen og/eller elektrisitet fra batterier. Disse nye energibærerne vil kreve betydelige endringer av lufthavninfrastrukturen, blant annet for å kunne håndtere hydrogenfly og elektriske fly. Dette innebærer utvikling av effektive og pålitelige systemer for lagring, lading og fylling, samt nye rutiner for vedlikehold og kontroll. Lufthavnene er også storforbrukere av energi, og utgjør derfor en viktig del av utfordringen for å oppnå klimanøytral luftfart.

Europeiske lufthavner har satt mål om nullutslipp for bakkeoperasjoner og drift ved flyplasser. Noen lufthavner (eksempelvis Schiphol) har satt egne mål om nullutslipp *airside* innen 2030, noe som vil kreve utvikling av smartere energisystemer og moderne nettløsninger, energieffektive terminalbygg, lokal produksjon og lagring av fornybar energi, samt effektiviseringer relatert til bakkeoperasjoner og drift.

Det digitaliserte luftrom

Sterke teknologiske drivere som økt digitalisering, kunstig intelligens og stadig smartere autonome systemer gjør at morgendagens luftfart (og mobilitet generelt) ikke bare vil framstå som en speiling av dagens infrastruktur med nye energibærere. Nye typer fly og mangfoldige applikasjoner knyttet til luftfarten (f.eks. passasjerfly, lastefly, militære fartøy, droner, leveringstjenester, utrykningstjenester, urban lufttransport⁸⁾) krever nye og moderne støtte- og kontrollsystemer for logistikken i luftrommet som er kostnadseffektive, pålitelige og fleksible. Den teknologiske utviklingen må støttes av inkluderende og tydelige rammeverk og regulativ for hvordan et framtidig luftrom bestående av private, industrielle, statlige og militære luftfartsaktører skal overvåkes og kontrolleres, samt sikre ordninger for deling av data på tvers av aktører og landegrenser i luftfarten.

Dagens situasjon for luftfarten i Norge

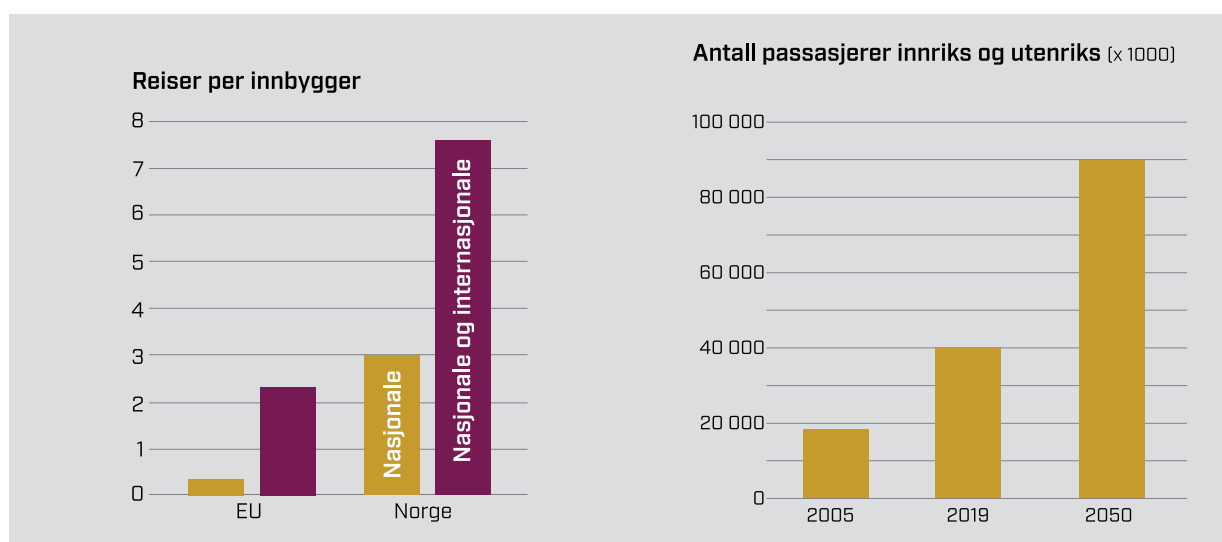
Luftfartens rolle og størrelse i Norge

Norge er mer avhengig av luftfart enn de fleste andre land, siden vi har et langstrakt land, desentralisert bosetting og et næringsliv som i mange tilfeller mangler fullgode alternativer for effektiv transport av personer og varer.¹¹⁾ Høyt inntektsnivå bidrar også til at fly står for en større andel av persontransporten i Norge enn de fleste andre land. Dette gjenspeiler seg i transportstatistikken vist i figuren under, hvor Norge ligger i europatoppen i antall innenriks flyreiser, og langt over snittet i totalt antall innenriks + utenriks flyreiser per innbygger. I snitt flyr en innbygger i Norge drøyt 1000 km innenlands hvert år, med en gjennomsnittsflyreise på ca. 350 km (Kilde: SSB 2019/2020).

I Norge, som ellers i verden, har trenden for luftfart vært økende fram til Covid-19-pandemien fikk fotfeste i 2020, se figuren under. For 2019 var antall passasjerer for

innenlands- og utenlandsflygninger henholdsvis 33,4 millioner og 24,5 millioner. Avinors estimer for trafikkvekst tilsier at det i 2050 vil foretas 90 millioner passasjerreiser.¹²⁾ Mens 70% av alle utenlandsreiser er fritidsreiser, er innenlandsreiser jevnere fordelt mellom fritids- og jobbreiser.¹³⁾ Innenlandsreiser med fly er svært viktig for verdiskapingen og regionalt næringsliv i Norge. Anslått trafikkvekst i Norge og andre industrialiserte land mot 2050 er noe lavere enn det globale snittet, hvor trafikken er ventet å doubles hvert 15. år.

I Norge er det SAS, Norwegian og Widerøe som drifter innenlandsruter. Samtidig forventer Flyr å starte med flytrafikk i 2021. Avinor eier de fleste norske lufthavner, med unntak av en håndfull mindre lufthavner. Norske lufthavner sysselsetter ca. 30 000 ansatte (2014), helt eller delvis tilknyttet drift av lufthavner, og omsatte for 45 mrd. NOK i 2018. I Nasjonal transportplan 2021¹⁴⁾



Antall flyreiser per innbygger, nasjonalt og totalt i 2019.

Utvikling og framskrivning av antall innenriks og utenriks passasjerreiser i Norge.

Kilder til tall på denne siden: SSB og Eurostat

bevilges midler til bygging av to nye storflyplasser i Mo i Rana og Bodø, noe som vil gi betydelige ringvirkninger for luftfartsbransjen i Nordland, samt muligheter for å inkludere framtidens infrastruktur for flyplasser allerede i planleggings- og byggefasen.

Nasjonale initiativ for bærekraftig luftfart

Luftfartens posisjon innenlands tilsier at Norge og norske luftfartsaktører har stor interesse av å gå i fronten for en storskala omstrukturering mot grønnere og mer fremtidsrettede løsninger for lufttransport. Basert på nasjonale mål om reduksjon av klimagasser fram mot 2030 og 2050, har Avinor fått i oppdrag fra Samferdselsdepartementet å se på muligheten for en overgang til elektrifiserte fly (inkludert hybridfly).^{15]} Luftfartstilsynet har også temaet høyt på sin strategiske plan, og samarbeider med det europeiske sikkerhetsbyrået for luftfart (EASA) for å legge til rette for en tidlig innfasing av nye lav- og nullutslippsfly for kort- og mellomdistanse. Dette er blant annet viktig for å ivareta det norske flytrafikk mønsteret med et trafikkert kortbanenett (ett av Europas største i antall flyvninger), samt redusere nasjonale utslipp av klimagasser fra fly.

I oktober 2020 lanserte Avinor og andre sentrale luftfartsaktører et veikart mot fossilfri norsk luftfart i 2050.^{12]} Dette målet skal nås ved å ta i bruk ny lav- og nullutslippsteknologi, samt storskala innfasing av bærekraftig drivstoff (med målsetting om 30% innblanding i 2030). Avinor ligger lengst fremme i verden når det gjelder å ta i bruk SAF: I Norge har vi et omsetningskrav på 0,5%, og fra 2016 har alle flyselskaper blitt tilbudt SAF, ferdig blandet fra Avinors sentrale tankanlegg. Widerøe skal fram mot 2030-35 fase ut flytypen som i dag trafikkerer kortbanenettet, og det produseres ikke fly i dag som egner seg

til å erstatte denne flytypen. Selskapet har som målsetting å operere en fullt ut elektrifisert flåte innen 2040, og har nylig inngått et samarbeid med Rolls-Royce og Tecnam for å levere det første hel-elektriske flyet til det norske kortbanenettet i 2026.^{16]} Elektrifisering av fly til kort- og mellomdistanse er et meget aktuelt alternativ for det norske kortbanenettet, noe som **gjør Norge til en meget velegnet testarena for grensesprengende luftfartsteknologi.**

Lykkes en med å utvikle et økosystem for bærekraftig luftfart i Norge vil det også få betydning for flyindustrien globalt og gi signifikante kutt i luftfartens operasjonelle klimaavtrykk.

Både EU og Norge^{17]} har klare strategier for innføring av hydrogen i energisystemet, som et viktig bidrag for å nå målet om bærekraftige lavutslippssamfunn i 2050. Industri og transport er sektorer der hydrogen vil spille en viktig rolle. I framtidens lavutslippssamfunn kan Norge opprettholde sin rolle som en betydelig energieksportør, gjennom hydrogenteknologi og storskalaeksport av hydrogen med lavt CO₂-avtrykk, produsert med fornybar kraft og/eller karbonfangst- og lagring.

Parallelt med en raskt voksende internasjonal interesse for hydrogen, øker også den nasjonale støtten til forskning og utvikling av hydrogenteknologi. Norske myndigheter ser at for å lykkes med klimamål og et industrielt hydrogeneventyr, må man være tidlig ute med nye løsninger.

Norsk luftfartsindustri

Norsk industri bidrar med kjerneteknologi innen flere forskjellige områder som er relevante for framtidens sivile luftfart, blant annet som utviklere av elektriske og hybride drivsystemer, fly- og motordesign, sensorikk for kontrollsystemer, bakkesystemer, samt digitale løsninger innen produksjonsteknologi, for å nevne noen kjerneområder. Norsk industri er samtidig en viktig teknologileverandør for militær

sektor. Flere selskaper jobber med elektriske småflykonsepter, og Norge har også en gryende droneindustri, foreløpig begrenset til ubemannede fartøy. Norsk industri er verdensledende innen hydrogen- og batteriteknologi, med tilhørende energi-systemer og -infrastruktur, noe som gir Norge et konkurransefortrinn i utviklingen av et velfungerende økosystem for bærekraftig luftfart.



**EUs klimamål:
Innen 2050
skal transportsektoren
ha kuttet 90 %
av sine utslipp,
og luftfarten
må bidra til dette kuttet.**

EU og internasjonalt samarbeid for bærekraftig luftfart

Luftfarten er en internasjonal bransje hvor omstilling og bærekraftig utvikling må samkjøres gjennom internasjonale reguleringer for å lykkes med et globalt grønt skifte. EU har flere målrettede virkemidler mot luftfart som Norge gjennom EØS slutter seg til, blant annet:

- **Ambisiøse miljø- og utslippskrav**

EU har som mål å gjøre Europa til det første klimanøytrale kontinentet, og går i mange tilfeller lenger enn utslippskravene i Paris-avtalen for EUs medlemsland. Lovforslaget ReFuelEU Aviation, del av EUs lovpakke “fit for 55”, setter krav til sterk vekst i opptaket av SAF og syntetisk drivstoff i flydrivstoff: Som bidrag til å kutte EUs utslipp med 55% skal minst 5 vol% av drivstoffet i 2030 og 63 vol% i 2050 være bærekraftig flydrivstoff. Direktiver for alternative drivstoff (AFID) skal stimulere til økt produksjon av SAF.¹⁸⁾

- **Standarder, regelverk og forskrifter**

EU jobber for en standardisert prosess for godkjenning av ny teknologi og et felles regelverk for styring av europeisk luftrom, og har gjennom “fit for 55” foreslått en rettspakke som innebærer at luftfartens fritak fra CO₂-kvoter (ETS) skal fases ut, samt økte priser på CO₂-kvoter. CORSIA¹⁹⁾ starter sin pilotfase i 2021 og har som mål at v veksten i internasjonal luftfart (målt fra 2020) skal være klimanøytral: Flyselskapene må kjøpe utslippskvoter eller kompensere for sine utslipp på annet godkjent vis, for eksempel gjennom iblanding av klimanøytralt drivstoff.

- **Standardisering av bærekrafts-rapportering: EUs grønne taksonomi**

EUs taksonomi for bærekraftige økonomiske aktiviteter er et klassifiseringssystem som har til hensikt å innføre en felles standard for evaluering av bærekraftighet i selskaper. En økonomisk aktivitet godkjennes som bærekraftig dersom den har et vesentlig bidrag til minst ett av seks miljømål i EU (*begrensning av klimaendringer, klimatilpasning, bærekraftig bruk og beskyttelse av vann- og havressurser, omstilling til en sirkulær økonomi, forebygging og bekjempelse av forurensning og beskyttelse og gjenopprettelse av biologisk mangfold og økosystemer*) gjennom å oppfylle gitte tekniske kriterier i taksonomien. Rapporteringen ihht. taksonomien blir lovpålagt, og forventes derfor å være en sterk drivkraft for et grønt skifte.

Kriterier som berører luftfart, er på nåværende tidspunkt ute på høring. Der anses fly som opererer på elektrisitet eller hydrogen å ha vesentlig bidrag til begrensning av klimaendringer. Det forslås en progressiv økning i bruk av SAF, der f.eks. et fly kan fra 2028 være 100% bærekraftig drivstoffsertifisert dersom mer enn 50% SAF brukes.

- **Stimulering av FoUI gjennom missions**

I EUs 9. rammeprogram for forskning, utvikling og innovasjon, *Horizon Europe (2021-2027)*, stimuleres teknologiutvikling og innovasjon blant annet gjennom partnerskap for målrettet utvikling av grensesprengende flyteknologi og flaggskip for nullutslippslufthavner. I Horizon Europe vil det være et økt søkelys på forskningens virkning og gjennomslagskraft (*impact*) for å løse sentrale samfunnsproblemer. En utslippsfri transportsektor innen 2050 er et eksempel på et slikt mission, hvor målrettet FoUI-innsats kreves for å oppnå helt spesifikke teknologiske løsninger for framtidens transportsystem.

Europeiske partnerskap relevant for luftfartsteknologi

Den europeiske strategien innen FoUI defineres i betydelig grad av tematiske partnerskap mellom industri, forskningssektoren og internasjonale organisasjoner. De mest relevante partnerskapene for luftfart er nevnt i tabellen under. SINTEF er deltager i disse partnerskapene, og er dermed med på å forme agendaen og prioriteringene for forskning finansiert gjennom EU. Et mer detaljert bilde av relevante partnerskap og Europeiske interesseorganisasjoner følger:

	<p>Clean Aviation bygger på Clean Sky og Clean Sky 2 Joint Undertaking fra Horizon 2020. Partnerskapet samler interessenter innen luftfartssektoren fra industri, FoUI-sektoren og europeiske luftfartsmyndigheter for å drive fram et paradigmeskifte innen bærekraftig luftfart ved hjelp av målrettet teknologiutvikling. Rolls Royce Electrical Norway, SINTEF og NTNU er norske medlemmer i Clean Aviation.</p>
	<p>Clean Hydrogen bygger på Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU og FCH2JU) fra Horizon 2020 med et totalbudsjett på over 2250 M€. Partnerskapet favner nå rundt 75 europeiske FoU-institusjoner og nærmere 250 industripartnere under Hydrogen Europe-paraplyen. Norske FoU-medlemmer er SINTEF, NTNU og IFE. Fra industrien er blant annet Equinor og NEL norske medlemmer.</p>
	<p>Single European Sky ATM Research (SESAR 3) bygger på SESAR og SESAR 2 Joint Undertaking fra Horizon 2020. Målet til SESAR 3 er å bringe europeisk lufttrafikkledelse inn i den digitale tidsalder, og bidra til høyere pålitelighet og skalerbarhet i framtidens lufttrafikk. SINTEF er medlem i SESAR.</p>
	<p>Batteries European Partnership Association (BEPA) sin visjon er å etablere en verdensledende bærekraftig og sirkulær verdikjede innen batteriproduksjon i Europa for å støtte et karbonnøytralt samfunn. Eyde-klyngen, SINTEF og NTNU er medlem i dette partnerskapet. Eyde-klyngen representerer interessene til Freyr, Morrow, Beyond, Elkem og Hydro.</p>
	<p>Partnerskapet Made in Europe ønsker å gjøre europeisk industri til et fyrtårn for framtidens økologiske og digitale transformasjon innen produksjonsteknologi. SINTEF er medlem i dette partnerskapet.</p>

Referanser og videre lesing

1. [*Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*](#) IPCC 2021, Cambridge University Press.
2. [*The European Green Deal*](#), Europakommisjonen, Brussel (2019).
3. [*Norges miljømål - 5. Klima*](#), Miljøstatus - oppdatert 2021
4. [*Strategic Research and Innovation Agenda \(draft\)*](#), EU Partnership on Clean Aviation (2020)
5. [*Revision of the EU Emission Trading System Directive 2003/87/EC*](#), EU Climate Action Aviation (2020)
6. Lee, D. S., et al.
[*"The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018."*](#) Atmospheric Environment, 117834 (2020)
7. [*Hydrogen-powered aviation – A fact based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050*](#), McKinsey & Co. for Clean Sky 2 JU & Fuel Cells and Hydrogen 2 JU (2020)
8. [*Recovery Delayed as International Travel Remains Locked Down*](#), International Air Transport Association (IATA), press release (2020)
9. [*France bets on green plane in package to 'save' aerospace sector*](#), Reuters (2020)
10. [*Re-fuelsEU Aviation - Sustainable Aviation Fuels*](#), Reguleringsproposisjon, Europakommisjonen (2020)
11. [*Fra statussymbol til allemannseie - Norsk luftfart i forandring*](#), Norges offentlige utredninger, 22 (2019)
12. [*Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart*](#), Avinor, NHO luftfart, LO, Widerøe, SAS, Norwegian (2020)
13. [*Luftfartens samfunnsnytte*](#), Avinor (2014)
14. [*Nasjonal transportplan 2022-2033*](#), Stortingsmelding (2021)
15. [*Forslag til program for introduksjon av elektrifiserte fly i kommersiell luftfart*](#), Avinor & Luftfartstilsynet (2020)
16. [*Rolls-Royce and Tecnam join forces with Widerøe to deliver an all-electric passenger aircraft ready for service in 2026*](#), Rolls Royce Press Release (2021)
17. [*Regjeringens hydrogenstrategi – på veg mot lavutslippssamfunnet*](#), Olje- og energidepartementet, Klima- og miljødepartementet (2020)
18. [*Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure \(AFID\)*](#), Europaparlamentet & Europarådet (2014)
19. [*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*](#), United Nations Aviation Agency (2016)



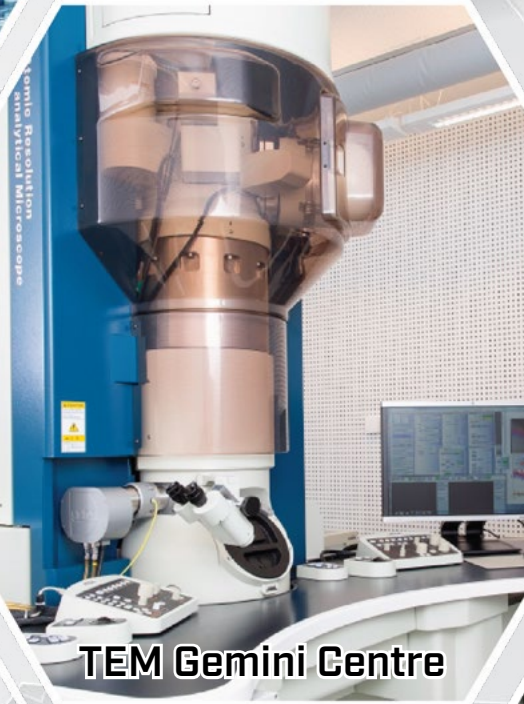
Forskning og infrastruktur hos SINTEF

SINTEF er ett av Europas største uavhengige forskningsinstitutt og besitter verdensledende ekspertise og forskningsinfrastruktur innen et bredt spekter av tematiske områder som er relevante for utvikling av framtidens bærekraftige luftfart.





SINTEF Energy Lab



TEM Gemini Centre



**Manufacturing
Technology Norwegian
Catapult Centre**



SINTEFBattery lab



HIPROX lab

Forskning og infrastruktur hos SINTEF



Norwegian Fuel Cell and Hydrogen Centre



SINTEF MiNaLab



Forbrenningslab

1

Nye energibærere





Syntetiske drivstoff og biodrivstoff

Syntetisk drivstoff og biodrivstoff har høy energitetthet, er kompatible med dagens infrastruktur (drop-in) og kan brukes i eksisterende forbrenningsteknologi om bord i flyene. Alle realistiske scenarier for klimanøytral luftfart i 2050 involverer en betydelig økning i bruken av bærekraftig flydrivstoff og det anses i dag som eneste mulighet til å avkarbonisere langdistanseluftfart på kort- og mellomlang sikt.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Bio- og syntetiske drivstoff (e-fuels) kan bidra til minst 70% lavere CO₂ og opptil 90% lavere partikkelutslipp sammenliknet med fossilt flydrivstoff. Bærekraft og klimaeffekt er hovedsakelig avhengig av råstoff og andre innsatsfaktorer (hovedsakelig elektrisk kraft og/eller hydrogen) benyttet i produksjonsprosessen, dvs. biomasse for biodrivstoff samt CO₂ og elektrisitet for syntetisk drivstoff. Bærekraftig produsert biomasse er en begrenset ressurs som kun kan dekke deler av drivstoffbehovet i luftfarten. Norsk treforedlings- og skogindustri eier store ressurser og har et ønske om å utnytte disse. Det er essensielt å kunne produsere mest mulig drivstoff av biomasse og dermed utnytte mest mulig av den begrensede ressurstilgangen. Effektiv bruk av hydrogen i produksjonsprosessen til biodrivstoff kan øke drivstoffutbyttet betydelig.

En type biodrivstoff (HEFA-SPK) er allerede på markedet i dag og tatt i bruk i luftfarten. Det finnes ytterligere seks sertifiserte produksjonsruter

hvor alt produsert bio- og syntetisk drivstoff kan tas i bruk umiddelbart. Det finnes få dedikerte produksjonsfasiliteter for SAF i dag, men flere er under etablering eller planlegging, både i Norge, i Europa og globalt. I tillegg finnes det flere produksjonsteknologier med potensial som enda ikke er sertifisert. Utviklingen av disse representerer et betydelig forsknings- og innovasjonspotensial både i Norge og internasjonalt.

Alle kjente produksjonsteknologier for syntetisk drivstoff og biodrivstoff til luftfart inneholder en eller flere katalytiske trinn, for eksempel hydrodeoksynering eller Fischer-Tropsch prosesser, hvor prisen og levetiden av katalysatoren er hovedutfordring når ikke-fossilt råstoff benyttes. Norske forskere og industri besitter god kunnskap og ressurser for å utvikle robuste katalysatorer med lang levetid for slike prosesse.



Kompetanse og markedsmuligheter

Norge har god ressurstilgang til både bærekraftig biomasse, grønn elektrisitet og fanget CO₂ som alle kan være vitkige innsatsfaktorer i produksjon av bio- og syntetisk drivstoff. Skog- og treforedlingsindustrien, samt flere forskningsinstitusjoner sitter med kunnskap om bærekraftig biomasseproduksjon og utnyttelse. Petroleumsindustrien og tilhørende kompetansemiljø besitter mye kunnskap og erfaring fra CO₂ fangst, i tillegg til ekspertkompetanse på de overnevnte katalytiske prosessene som er nødvendige for å produsere drop-in drivstoff. Dette gir en unik mulighet for norsk petroleumsindustri- og forskning til å bruke eksisterende kompetanse til grønn omstilling. I TULIPS (et nyetablert EU prosjekt for grønne flyplasser, med 29 europeiske partnere) skal SINTEF og Avinor jobbe sammen med å få til økt kjennskap og aksept for bærekraftig drivstoff på flyplasser, noe som kan øke betalingsviljen for slikt og underlette introduksjon av nye drivstoff.



KONTAKTINFORMASJON

Judit Sandquist

Forsker

SINTEF Energi

judit.sandquist@sintef.no

Referanser og videre lesing

- [Sustainable aviation fuels road-map, Sustainable Aviation, 2020](#)
- [Waypoint 2050, Air Transport Action Group, 2020](#)
- [Program for økt produksjon og innføring av bærekraftig flydrivstoff, Avinor m. fl., 2021](#)
- Wormslev et al, "[Sustainable jet fuel for aviation, Nordic perspectives on the use of advanced sustainable jet fuel for aviation](#)", 2016, TemaNord 2016:538, ISSN 0908-6692



Batterier

Batterier vil være en essensiell del av fremtidens luftfart, gjennom hel-elektriske drivsystemer for luftbårne droner og småfly (< 19 passasjerer), men også i hybrid-elektriske drivlinjer og som energikilde for alle ikke-fremdriftsrelaterte funksjoner i større fly. Forbedringer i ytelse, energitetthet og pris kan gi norskproduserte batterier en sentral plass i fremtidens flykonsepter.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Batterier som eneste energikilde er i utgangspunktet ikke egnet for annet enn småfly, grunnet fysiske begrensninger som høy egenvekt av batteriet og derfor mye lavere energitetthet enn f.eks. jet-fuel og H₂. Et batteridrevet fly blir heller ikke lettere gjennom flyvningen slik som et fly som forbrenner drivstoff. Batteri-elektrisk fremdrift er imidlertid en moden og utprøvd teknologi i transportsektoren, og flere hel-elektriske småflykonsepter finnes allerede i dag på demonstrasjonsstadiet. DHL bestilte i nylig 12 batteri-elektriske godsfly av oppstartselskapet eViation, som skal levere flyene i 2024. Batterier er også essensielle deler av hybrid-elektriske drivlinjer, og spiller samtidig en viktig rolle som energikilde for alle ikke-fremdriftsrelaterte funksjoner i de fleste større fly gjennom More Electric Aircraft-konsepter. Nyvinninger innen batterikjemi, ytelse, energitetthet og pris kan øke nedslagsfeltet for batterier innen luftfarten i fremtiden. I tillegg er det i årene som kommer ventet en eksplosiv vekst i markedet for droner både for monitorering, frakt av varer og andre tjenester, samt persontransport (UAM). Droner med løftekapasitet opp mot 150 kg vil sannsynligvis basere seg på batteri-elektriske drivsystem.

I tillegg til utvikling av nye batterikonsepter med høyere ytelse og energitetthet, er de viktigste forskningsutfordringene for batterier i luftfarten knyttet til ekstreme krav rundt sikkerhet og pålitelighet. Dette inkluderer batterisystemets ytelse, aldring og levetid under spesielt krevende forhold som høye/lave temperatur, raske forandringer i trykk og luftfuktighet, samt sterke mekaniske påkjenninger. Faststoffbatterier kan være attraktive for luftfarten siden de ikke bruker brannfarlige elektrolytter elimineres. Kapasitetsreduksjon over tid kan kompenseres ved å overdimensjonere batterier eller å bytte dem ut oftere. Førstnevnte gir ulemper for driftsøkonomien mens den andre vil øke mengden batteriavfall, og kreve effektive systemer for gjenbruk. Batteristyringssystemer (BMS) vil se annerledes ut for luftfarten enn for andre transportmodi og vil måtte designes spesifikt for applikasjonen. I tillegg vil systemer for trygg og effektiv ultrarask lading være essensielt for bruk av batterier i luftfarten.



Kompetanse og markedsmuligheter

Norge har i de siste årene bygget opp en raskt voksende verdikjede for produksjon av battericeller (i hovedsak Li-ion), men også andre teknologier. Dette inkluderer store planlagte investeringer i årene fremover og betydelig industrielt engasjement, samt politisk vilje til å bruke ren norsk kraft til å bygge en ny grønn industri innen batteriproduksjon. Norge har også en betydelig industriell aktivitet rundt integrasjon og bruk av batterisystemer for maritim sektor, der eksisterende infrastruktur og kompetanse potensielt kan brukes også inn mot luftfartssektoren. Den industrielle kompetansen reflekteres av sterke fagmiljøer ved blant annet SINTEF, IFE og NTNU, med ekspertkompetanse innen blant annet batterikjemi, moduler/batteripakker, systemintegrasjon og ladesystemer.



KONTAKTINFORMASJON

Edel Sheridan

Senior Forretningsutvikler
SINTEF Energi
edel.sheridan@sintef.no

Paul Inge Dahl

Seniorforsker
SINTEF Industri
pauInge.dahl@sintef.no

Referanser og videre lesing

- Nøkkeltall for batterier til luftfart er definert i "[*Strategic Research Agenda for batteries, Batteries Europe, 2020*](#)"



Hydrogen

Flytende hydrogen blir brukt som rakettdrivstoff i flere typer romfartøy, og er også demonstrert som drivstoff i fly. Nullutslipp og høy energitetthet er ansett som hydrogenets største fordel som flydrivstoff, og enkelte industriaktører ser på hydrogen som en endelig løsning for bærekraftig luftfart.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Produksjon av hydrogen ved elektrolyse eller reformering av naturgass er godt kjent teknologi, og prisen for hydrogen, inkludert flytende hydrogen (LH₂), ventes å falle drastisk i årene framover. Det forventede prisfallet er en utløsende faktor for at Airbus og flere andre selskaper nå satser på utvikling av nullutslippsfly med hydrogen som drivstoff, som kan bidra til eliminering av CO₂-utslipp og flere typer ikke-CO₂ utslipp. Allerede for over 30 år siden utførte Tupolev testflyvninger av et ombygd kort-mellomdistanse-fly, som hadde flytende hydrogen på tanken. I nyere tid har småfly med komprimert hydrogen og brenselceller blitt demonstrert. Som bidragsyter til vesentlige utslippskutt i luftfarten er hydrogen i første omgang relevant for kort- og mellomdistansefly. Dette er segmentet som står for den største andelen av utslipp fra luftfart i dag.

Selv om hydrogenet i seg selv har tre ganger så mye energi per kg drivstoff sammenlignet med flydiesel, tar hydrogen vesentlig større plass. Gassfase hydrogen tar desidert størst plass, men selv flytende hydrogen krever fire ganger større lagringsvolum enn dagens flydrivstoff, på grunn av lavere volumetrisk energitetthet. Dette gir nye utfordringer til både flydesign og tankteknologi, som fører til høyere sytemvekt og reduserer den effektive energitettheten.

Hydrogen i sin mest energitette form er flytende og har en temperatur på -253°C. Tanker for flytende hydrogen har vært i bruk i mange tiår, blant annet i romfartsprogrammene til NASA. De siste tiårene har material- og produksjonsteknologi tatt store steg på andre områder. Dette gir et godt utgangspunkt for utviklingen av ny teknologi for lettvekts systemer for LH₂-tanker til fly, med god nok termisk isolasjon. Til forskjell fra romfergene, vil disse tankene fylles og brukes langt oftere – med mange passasjerer om bord. Kravene til sikkerhet og sertifisering må derfor være svært strenge og krevende å oppfylle.

Lettvektstanker i kompositt for hydrogenlagring i komprimert form ved 700 bar trykk ble godkjent for anvendelser i transport i 2003. Regulatoriske krav til sikkerhetsmarginer gjør at slike tanker må ha svært tykke vegger, hvilket gjør at drivstoffet utgjør under 10 % av tankens totale vekt. Det er stort behov for forskning og videreutvikling av lagringsteknologi med akseptable energitettheter og tilhørende regelverk for både gass og væske, slik at hydrogen skal kunne realiseres som drivstoff for fly i alle størrelser fra droner og småfly, til passasjerfly for mellomdistanse.



Kompetanse og markedsmuligheter

Norge har ambisjoner om å bli en betydelig eksportør av rent hydrogen og hydrogenteknologi, basert på god tilgang på fornybar kraft til elektrolyse, samt hydrogenproduksjon fra naturgassressurser med karbonfangst. Med hundre års erfaring innen storskala vannelektrolyse stiller Norge i en særklasse når det gjelder produksjon av grønt hydrogen. Betydelig kapasitet for å lagre CO₂ på kontinentalsokkelen gir Norge et stort konkurransefortrinn når det gjelder produksjon av blått hydrogen med karbonintensitet på nivå med grønt hydrogen.

Flytende naturgassindustrien har et godt utgangspunkt for omstilling til også å kunne transportere og håndtere store mengder flytende hydrogen. Produksjon, flytendegjøring, kryogen lagring, fordamping og konstruksjonsmaterialer for hydrogen er områder der SINTEF har høy kompetanse og lang erfaring. Betydelige laboratoriefasiliteter er etablert og under oppbygning, og i samarbeid med blant annet Shell har SINTEF vist at energiforbruket for flytendegjøring kan halveres (*Prosjektet IdealHy*). Denne kompetansen gir sterk støtte for norsk industri som ønsker å etablere seg innen produktdesign og produksjonsteknologi for avanserte deler og subsystemer til hydrogenfly.



KONTAKTINFORMASJON

Ida Hjorth

Forsker
SINTEF Energi
ida.hjorth@sintef.no

Steffen Møller-Holst

Markedsdirektør
SINTEF Industri
steffen.moller-holst@sintef.no

Referanser og videre lesing

- [EU-prosjektet IdealHy](#) - Integrert design for effektiv og avansert flytendegjøring av hydrogen
- [Europe's largest PEM electrolyzer for hydrogen production in operation - the capacity will tenfold in the coming years](#), sintef.no, 2021

2

Framdriftssystem





Elektrisk drivlinje

Elektriske drivlinjer muliggjør utslippsfrie fly ved å gi framdrift uten forbrenning av hydrokarboner. Teknologien er allerede demonstrert i mange småfly og andre deler av transportsektoren. Elektromotorer kan drives av batterier (småfly) eller hydrogen-brenselceller (mellomdistanse), men kan også brukes i hybrid-elektriske drivsystemer i kombinasjon med forbrenningsmotorer drevet av e-fuels eller hydrogen.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

I et hel-elektrisk framdriftssystem vil propeller eller turbovifter være drevet av elektromotorer, som igjen drives av en kraftomformer. Med energiforsyning fra batterier og hydrogendrevne brenselceller blir den elektriske drivlinjen en nullutslippsløsning for fly, så lenge kildene til elektrisitet og hydrogen er utslippsfrie. I tillegg til å være utslippsfrie, har elektriske drivlinjer også høyere virkningsgrad enn forbrenningsmotorer. For luftfarten er hel-elektriske drivlinjer i dag på demonstrasjonsstadiet. På grunn av batterienes høye egenvekt forventes det at denne løsningen vil være mest aktuell for mindre fly på korte strekninger (< 19 PAX). Elektriske drivlinjer er imidlertid høyaktuelle også for større fly til kort- og mellomdistanse gjennom hybrid-elektriske framdriftsløsninger. Her vil forbrenningsmotorer bidra til framdrift, enten direkte eller ved å generere elektrisitet som deretter driver elektromotorene. Et slikt framdriftssystem har flere synergieffekter, blant annet gjennom muligheter for å skreddersy maksimal effekt under take-off og klatring.

Kombinasjonen av nullutslippsmål og ekstreme krav til ytelse, pålitelighet og sikkerhet for elektrisk luftfart vil i årene framover kreve mye nyutvikling. Drivsystemet (motor, kabler og kraftelektronikk) i elektriske fly må presses til det ypperste av teknologiløsninger for maksimal ytelse og effektivitet. For luftfarten er det spesielt viktig å redusere størrelse og vekt. Motordesign basert på permanentmagneter er et eksempel på et område hvor det jobbes med å optimalisere effektiviteten for luftfartapplikasjoner og utvikle gunstige og bærekraftige materialer. I tillegg til pålitelighet og kostnader vil det ofte være termiske hensyn som setter begrensingene for hvor kompakte elektriske framdriftssystemer kan være. Drivsystemer med høyere spenning, samt mer effektive styringssystemer og nye arkitekturer for optimalt distribuert framdrift, kan gi lavere tap, samt mindre og lettere systemer. Videre kreves det at komponentene fungerer under ekstreme forhold som raskt skiftende temperatur og trykk, og hurtig effektsykling. Alle nye elektriske konsepter som skal opp i luften må underlegges strenge prosedyrer for kvalifisering, sertifisering og levetidsestimater, med krav om at de nye løsningene er enda sikrere enn forbrenningsmotorene de avløser.



Kompetanse og markedsmuligheter

I tillegg til noen få konsepter for elektriske småfly i Norge, domineres markedet innen elektriske drivlinjer for luftfart av Rolls Royce Electrical Norway, som gjennom E-Fan X-prosjektet demonstrerte verdens kraftigste elektriske maskin (2,5 MW) for luftfart. Rolls Royce har et langsiktig samarbeid med Widerøe og Tecnam om å levere det første kommersielle elflyet i 2026, som et ledd i elektrifisering av kortbanenettet innen 2030, en utvikling som er støttet av Luftfartstilsynet. Norge har mye industriell kompetanse innen maritime (elektriske) drivsystemer som kan videreutvikles mot luftfarten, blant annet i Kongsberg-gruppen. Dette komplementeres av sterke kompetansemiljø på kompakte og pålitelige elektromotorer og kraftelektronikk hos NTNU og SINTEF. I Interreg-prosjektet Green Flyway samarbeider blant andre Avinor og SINTEF med norske og svenske aktører for å gjøre strekningen Røros-Østersund til en testarena for elektriske flykonsepter fra Heart Aerospace.



KONTAKTINFORMASJON

Ole Christian Spro

Forsker
SINTEF Energi
ole.christian.spro@sintef.no

Espen Eberg

Forsker
SINTEF Energi
espen.eberg@sintef.no

Referanser og videre lesing

- [Airbus E-Fan X-project](#), Wikipedia-artikkel
- [Rolls-Royce and Tecnam join forces with Widerøe to deliver an all-electric passenger aircraft ready for service in 2026](#), Rolls Royce Press Release (2021)
- [Forslag til program for introduksjon av elektrifiserte fly i kommersiell luftfart](#), Avinor & Luftfartstilsynet (2020)



Hydrogendrevne fly

Energien i hydrogen kan omdannes til framdrift gjennom direkte forbrenning i en jet-motor, eller konvertering til elektrisitet som igjen driver en elektrisk motor. Konvertering til elektrisitet kan gjøres av brenselceller eller gassturbiner. Disse systemene vil ha ulik effekt-tetthet (W/kg), som er en avgjørende parameter for hvilken størrelse og nyttelast flyet kan ha.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Brenselceller for landtransport er i dag en moden teknologi. Busser i London kan vise til 35 000 driftstimer (8 år kontinuerlig drift, 16 timer/dag) i ordinær rutedrift. For personbiler har Toyota nå økt den årlige produksjonskapasiteten til 30000 hydrogenbiler, og kostnadene faller raskt. Til tross for en betydelig økning av effekt-tettheten for brenselceller de siste 20-årene er det anslått at denne må ytterligere økes en faktor 2-3 for at brenselceller skal kunne brukes til å drive kort- og mellomdistansefly, som vil åpne for massiv implementering av brenselceller i kommersiell luftfart. Dette fordrer at man må ta i bruk helt nye materialer, lettere komponenter samt enklere og mer robuste brenselcellesystemer.

En stor del av arbeidet med testflyet Tupolev gikk ut på å tilpasse en **jetmotor** til å kunne brenne hydrogen. Det anses i dag som fullt mulig å utvikle jet-motorer som kan brenne hydrogen, men endringer fra dagens design er nødvendig for å oppnå stabil forbrenning og for å kontrollere flammemetemperaturen, og dermed undertrykke dannelsen av NO_x, som bidrar til luftforurensing og

global oppvarming. Hydrogen-jetmotorer har høy effekt-tetthet, som er nødvendig for å drive større passasjerfly. I tillegg til forbrenning av ren hydrogen er det stor interesse rundt forbrenning av blandinger (drop-in) av hydrogen og konvensjonelt drivstoff, som kan bidra til forbedring i forbrenningen av hydrokarbon-drivstoff.

Kraftbransjen har over lengre tid forsket på **gassturbiner** som drives av hydrogen. Tilpasning av en gassturbiner til et fly er en mulig løsning for elektrifisering av større fly som krever større effekt-tetthet, særlig ved take-off.

Bruk av flytende hydrogen introduserer en mulig synergi med superledende komponenter i et elektrisk fly. Superledende komponenter vil øke effektiviteten til drivlinja. For å utnytte en slik synergi kreves avansert termisk integrering av den elektriske drivlinja med systemet for lagring og kondisjonering av LH₂.



Kompetanse og markedsmuligheter

SINTEF har mer enn 30 års erfaring med utvikling av **brenselceller**. SINTEF samarbeider med ledende brenselcelleprodusenter som PowerCell, Ballard og ElringKlinger, og dette danner et utmerket utgangspunkt for videreutvikling av slik teknologi for luftfarten. SINTEF er verskap for Nasjonalt senter for brenselceller og hydrogen, og tilbyr avanserte laboratorietesting for utvikling og validering av brenselceller og komponenter.

SINTEF og NTNU har etablert et samarbeid med flere ledende gassturbinprodusenter (Ansaldo, Siemens, Thomassen) innen **forbrenning av hydrogenblandinger i gassturbiner**. SINTEF har dyktige fagmiljø innen avansert modellering av termodynamikk som kan brukes til å designe termisk integrasjon av drivstoffsystemet med det elektriske systemet. Synergien mellom superledning og flytende hydrogen er attraktiv for alle framtidige brukersegmenter av H_2 , som maritim transport og innen energibransjen.



KONTAKTINFORMASJON

Steffen Møller-Holst

Markedsdirektør
SINTEF Industri
steffen.moller-holst@sintef.no

Andrea Gruber

Seniorforsker
SINTEF Energi
andrea.gruber@sintef.no

Referanser og videre lesing

- [Hydrogen-powered aviation – A fact based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050](#), McKinsey & Co. for Clean Sky 2 JU & Fuel Cells and Hydrogen 2 JU (2020)
- [Airbus reveal new zero-emission concept aircraft](#), Press release 21.09.2020

3

Framtidas digitale fly





Sensorsystemer

Utviklingen innen flydesign inkluderer mer omfattende bruk av kontinuerlig tilstandsovervåkning av flykropp og kritiske systemer. Dette skaper behov for nye effektive sensorløsninger som vil danne basen for nye digitale verktøy.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Nye teknologikonsepter for bærekraftig og utslippsfri luftfart kan også føre til økt risiko og redusert sikkerhet, f.eks. ved å benytte nye energibærere og lettvektsmaterialer i flykroppen. For å kompensere for slike usikkerheter tester man nå ut mulighet for mer omfattende bruk av kontinuerlig tilstandsovervåkning av flykropp og andre kritiske systemer i framtidens fly. Dette skaper behov for nye effektive sensorløsninger som kan dekke store overflater og lokale variasjoner av parametere som vibrasjon, kraft, temperatur, tøyninger, trykk, samt elektriske verdier. Eksempelvis vil deteksjon av sprekkdannelser som følge av utmatting være et essensielt tema.

Konvensjonelle fly har i dag allerede et avansert sensorsystem som i stor grad baserer seg på elektrisk kontaktering og kabling av sensorer. Et større antall sensorer vil dermed gi økt vekt som følge av økt kabling. Dette er et stort hinder for et ønske om flere sensorer og økende grad av tilstandskontroll. I senere år har det bygd seg opp interesse for overvåkningssystemer basert på

trådløs kommunikasjon mellom enhetene i flyet. Ved overgang til trådløs kommunikasjon oppnås en betydelig vektreduskjon og en banebrytende utklung i sensorsystemer for fly. Tilpasning av sensorer for et nytt operasjonsmønster vil være av stor interesse. Ved økt sensoromfang vil også kravene til datahåndtering og edge computing øke tilsvarende, og digitaliseringsteknologier vil spille en større rolle.



Kompetanse og markedsmuligheter

Flybransjen stiller store krav til kontrollsystemer og deres sensorer når det gjelder kvalitet, sikkerhet og presisjon. Konservatisme samt strenge krav er en barriere for nye bedrifter til å komme inn i markedet. Memscap AS og SensoNor AS er de eneste bedriftene i Norge som produserer sensorer til kontrollsystemer for fly. Memscap leverer trykk-sensorer og -transducere som for det meste benyttes til måling av høyde, fart, kabintrykk og til kontroll av flymotorer. SensoNor leverer IMU (Inertial Measurement Unit) som benyttes til posisjonering og orientering uten bruk av GPS. Potensialet for vekst er stort innen løsninger for kontinuerlig tilstandsovervåking av fly. Bedriftene har over mange år jobbet tett med SINTEF i utvikling av nye sensorer og optimalisering av sine prosesser. SINTEF har relevant infrastruktur gjennom MiNaLab, samt kompetanse og ekspertise innen piezo-elektriske sensorer, vibrerende tøyningssensorer, ultralyd, akselerasjonssensorer, optiske sensorer samt instrumentering og kommunikasjon.



KONTAKTINFORMASJON

André Larsen

Senior prosjektleder
SINTEF Digital
andre.larsen@sintef.no

Referanser og videre lesing

- [Airborne Wireless Sensor Networks for Airplane Monitoring System](#), Gao et al. (2018)
- [FLite Instrumentation TEst Wireless Sensor, FLITE-WISE Final Report \(2015\)](#)
- [Structural Integrity and Health Monitoring](#), Imperial College London (2021)



Digital tvilling

Digitale tvillinger kombinerer modeller, måledata og andre datakilder og gir et vel av muligheter for bedre design, operasjon og vedlikehold. Disse vil være nødvendige for å kunne sikre rask og bærekraftig utvikling og operasjon av nye lav- og nullutslipps flytyper, samt redusere utslipp ved å forbedre prosessene på flyplassen og i luftrommet.



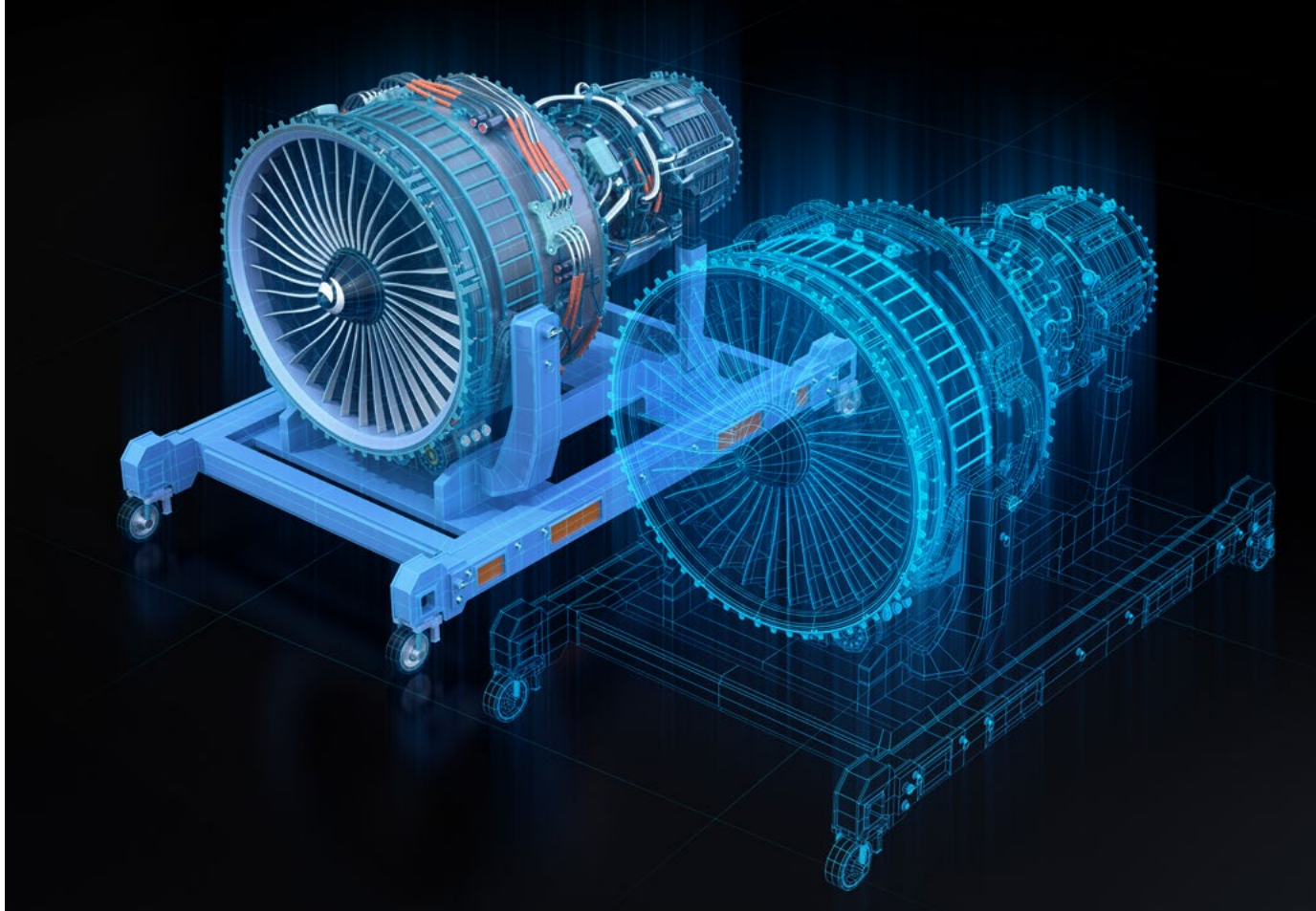
Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

En digital tvilling er en digital representasjon av et system. Som en grunnsten vil en digital tvilling basere seg på en kombinasjon av en modell av systemet, innsamlet data fra sensornettverk og avanserte algoritmer som kobler komponentene sammen. Dette vil generere ny data om tidligere, nåværende eller fremtidige tilstander til systemet. Og det er denne nye informasjon vi kan agere på for å oppnå forbedringer.

Innen luftfart kan digitale tvillinger blant annet kunne brukes til optimalisering av operasjon på flyplassen og i luftrommet, muliggjøre prediktivt vedlikehold av fly og støtte utviklingsprosessen av nye enheter. Hvert fly kan holde styr på gjenlevende levetid av forskjellige komponenter ut ifra opplevd mekaniske spenninger og bruk, som kan gi bedre utnyttelse, mindre avfall mens sikkerheten ivaretas. Simuleringer med den digitale tvillingen kan brukes til å optimalisere bruksmønstret basert på historisk data, og i etterkant få direkte tilbakemelding når det settes ut i drift. I tillegg vil oppsamling av data fra

drift kunne brukes til forbedring og innovasjon ved design av nye fly. Dette er spesielt viktig for fly bygget med nye materialer og drevet av miljøvennlig energi hvor man ikke har like lang driftserfaring som med etablerte fossildrevne flytyper.

Der er fortsatt store muligheter for utvikling av det digitale økosystemet og algoritmene for å 1) øke graden av realisme og evnen til predikasjon av oppførsel fremover i tid, 2) begrense tidsbruk og ressursbruk for å etablere og drifte de digitale tvillingene, og 3) forbedre menneske-maskin interaksjon. For å få mest mulig utbytte må mange datakilder være tilgjengelig og gjøres forståelige for algoritmene, samtidig som mengden sensorer og lagrede data øker raskt. Kombinasjonen av analytiske, numeriske og datadrevne modeller gjennom simulering og maskinlæring, såkalt hybrid analyse og modellering, vil kunne gi helt nye muligheter for etablering av digitale tvillinger. Og ikke minst har teknologier som virtuell og utvidet virkelighet stort potensial for å forbedre interaksjon med de digitale tvillingene.



Kompetanse og markedsmuligheter

Der er allerede eksempler på at bruk av digitale tvillinger i utviklingen av nye jagerfly korter ned utviklingstiden betraktelig. Videre er det flere aktører i Norge som utvikler plattformer for digitale tvillinger innen marin sektor. Slik kompetanse og erfaring vil være veldig verdifull når en går mot luftfarten. Bruken av digitale tvillinger er i en tidlig fase, og det vil være store muligheter for bruk av digitale tvillinger i operasjon og vedlikehold av fly og flyplasser.

En stor utfordring med å etablere en god digital tvilling er å identifisere og kombinere nødvendig kompetanse. Domenekunnskap er verdifullt for å forstå og lage gode modeller som inngår i den digitale tvillingen. Videre så vil en måtte velge gode algoritmer som kan få riktig informasjon ut av dataene, som i neste steg kan hjelpe systemeier og -bruker. SINTEF huser eksperter og ekspertise fra mange fagområder for både domenekunnskap og algoritmekunnskap.



KONTAKTINFORMASJON

Markus Brachner

Forsker
SINTEF Digital
markus.brachner@sintef.no

Oliver Barrowclough

Seniorforsker
SINTEF Digital
oliver.barrowclough@sintef.no

Trond Kvamsdal

Seniorforsker
SINTEF Digital
trond.kvamsdal@sintef.no

Referanser og videre lesing

- AIAA, "[Digital Twin: Definition & Value](#)"
- A. Rasheed, O. San and T. Kvamsdal, "[Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective](#)," in IEEE Access, vol. 8, pp. 21980-22012, 2020
- P. Pileggi, A. Bujari, O. Barrowclough, J. Haenisch and R. Woitsch, "[Overcoming Digital Twin barriers for manufacturing SMEs](#)"



Produksjon med lettvektsmaterialer

Fremtidens flydesign vil være sterkt påvirket av nye konsepter for fremdrift (f.eks. integrerte hydrogentanker), med lettere og integrerte strukturer som er bærekraftige og billige å produsere, operere og vedlikeholde. For å utnytte dette potensialet kreves en rivende utvikling innen produksjonsteknologi og prosessering av avanserte komposittmaterialer, lette metallegeringer og hybridmaterialer.



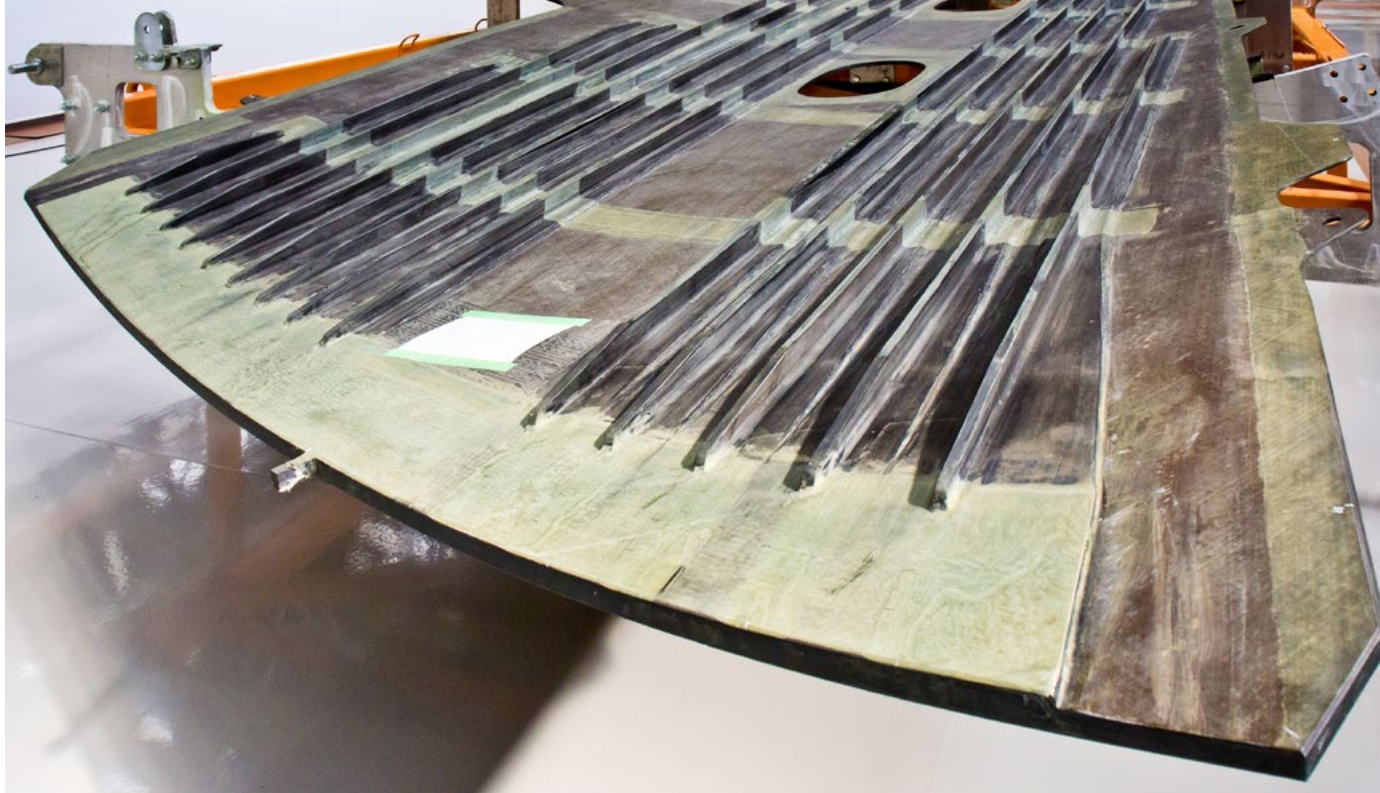
Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Siden 1980 har avanserte polymerkompositter delvis erstattet metallegeringer som bærende strukturmateriale i flykropper, hovedsakelig på grunn av bedre vekt- og stivhetsegenskaper. Konvensjonelle prosesseringsmetoder (autoclave processing) har imidlertid begrensinger for hvor store strukturer som kan herdes i en enkelt prosess. Dette har motivert til utvikling av nye effektiviserte produksjonsløsninger og dedikerte materialer for større og mer komplekse integrerte flystrukturer, samtidig som man reduserer material- og driftskostnader.

For mindre komponenter brukt til festing og sammenstilling av flykroppen følges andre teknikker som kompresjonsstøping og additiv tilvirkning (3D-printing) med kontinuerlige fibre – en banebrytende teknologi som er full av potensial. Mye forskningsinnsats legges også inn mot sertifisering, ikke-destruktiv inspeksjon, operativ tilstandsovervåking og reparasjon av nye komposittløsninger. Design og sertifisering av koblinger og ledd mellom kompositter og hybride metallkompositter er spesielt relevant for integrerte flykropper. Et sentralt tema som har vokst fram den siste tiden er bærekraftig

forbruk av komposittmaterialer og resirkulering og avfallshåndtering gjennom design- og prosessoptimalisering.

Parallelt med utviklingen av komposittmaterialer til luftfarten har man sett en nedgang i bruk og innovasjon rundt konvensjonelle metallegeringer (som aluminium) til luftfart. Bruken av aluminium hemmes ytterligere av den galvaniske reaksjonen som oppstår i kontakt med vann og karbonfiber fra kompositter. Det har imidlertid vært en betydelig økning i bruken av titanlegeringer siden tidlig 2000-tallet grunnet et høyt styrke-til-vekt forhold og motstandsdyktighet mot korrosjon, varme og mekaniske sammenstøt. Titanlegeringer er godt egnet for understell, landingsutstyr og motor-komponenter, og den termiske utvidelseskoeffisienter gjør dem spesielt aktuelle som hybride koblinger mot kompositter. Material- og produksjonskostnadene er imidlertid høye sammenlignet med aluminium og stål. Additiv tilvirkning kan potensielt spille en nøkkelrolle i å redusere produksjonskostnadene, men krever industriell forskningsinnsats på metodikk (f.eks. near net-shape metoder, powder metallurgy).



Kompetanse og markedsmuligheter

Den norske komposittindustrien har tradisjonelt lent seg mot maritim sektor med materialløsninger og storskalaproduksjon for et bredt spekter av anvendelser, fra skipsbygging til subsea-løsninger. Spesialkompetanse som kan tas i bruk i fremtidens luftfart finnes, blant annet i Nammo og Hexagon Ragasco, som har utviklet ledende ekspertise innen trykkbeholdere for luftfart, romfart og gasstransport. For å videreutvikle denne ekspertisen er blant annet forskning på komposittfilamentviklinger et strategisk satsingsområde hos Manufacturing Technology Catapult Center (MNTC) på Raufoss.

Innenfor avanserte legeringer for luftfart og romfart er Kongsberg-gruppen ledende i Norge innen produksjon av komplekse strukturer i titan og kompositt. Norsk Titanium jobber med sertifisering av 3D-printede titandeler til nye flyrammer for Boeing og Airbus. Aluminium er fortsatt et viktig materiale i luftfart og særdeles godt egnet for resirkulering. Norge har sterke miljø innen aluminiumsteknologi og er internasjonalt ledende innen legeringsutvikling. Eksempel er neste generasjon av høy-styrke-legeringer til Nammo Raufoss, hvor synergien mot luftfart er åpenbar.

SINTEF Industri og Manufacturing og representerer et kompetansemiljø som tilbyr ekspertise innen lettvektsmaterialer gjennom hele verdikjeden fra råvare til produkt.



KONTAKTINFORMASJON

Einar Louis Hinrichsen

Forskningsleder
SINTEF Industri
einar.l.hinrichsen@sintef.no

Jens Kjær Jørgensen

Forskningsleder
SINTEF Manufacturing
jens.k.jorgensen@sintef.no

Referanser og videre lesing

- Jay ML. [Moving outside the autoclave box](#), Composites Manufacturing Magazine; 2017.
- Gardiner G. [Composites and 3D printing could boost Europe's SAT manufacturing capabilities for the 2030s](#), Composites World; 2021.
- [Attributes, characteristics, and applications of titanium and its alloys](#), Boyer RR. JOM; 2010, 62(5): pp. 21-4.

4

Trygt luftrom





Luftbårne droner og urban lufttransport

Fremtidens luftrom må være tilrettelagt for nye typer tjenester knyttet til ubemannede fly (luftbårne droner) og urban lufttransport (UAM). Droner gir mange muligheter og kan velte om på verdikjeder innen datainnsamling og analyse, logistikk og intervensjon. Det er viktig at man utvikler helhetlige og bærekraftige løsninger som hensyntar behov på tvers av regioner og næringer.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

EU kommisjonæren for transport uttalte nylig at “Drones are a clear part of the future transport and logistics landscape. There is vast potential when it comes to new cargo and delivery services, as well as other innovative applications.”

En storskala innfasing av luftbårne droner og urban lufttransport drevet av batterier og/eller hydrogen vil kreve infrastruktur for lading/fylling, samt lasting/lossing og eventuelle systemer for passasjererlogistikk. Relevante bruksområder for luftbårne droner er varetransport, inspeksjon og vedlikehold knyttet til offentlig og privat infrastruktur, forvaltning av ressurser innenfor landbruk, skogbruk, jakt og fiske, samt søk etter savnede personer. Ny infrastruktur må ivareta ulike behov knyttet til både offentlige etater (politi, brann, sykehus, redning, samferdsel) og private aktører (energiprodusenter, landbruk, skogbruk, distributører). Godt utarbeidede løsninger vil kunne føre til utslippsreduksjoner både i form av flytting av tjenester fra tradisjonell luftfart over til luftbårne droner, og også ved å erstatte

enkelte transportkjeder som i dag foretas med bil, helikopter eller båt. En viktig faktor for å realisere det fulle potensialet til dronebaserte løsninger vil være å øke graden av autonomi samtidig som operasjons- og investeringskostnader holdes nede. For å oppnå dette kreves blant annet høynivå oppdragsplanlegging (mission planning), avanserte sensordata og databehandlingsalgoritmer basert på kunstig intelligens og andre metoder, samt smart beslutningsstøtte med riktig involvering av (menneskelig) operatør ved behov. Optimalisering av rutenett og gode strategier for delt bruk av droneflåten, samt infrastruktur og prioritering av andre ressurser vil være viktig for å gjøre de nye løsningene attraktive for behovseierne. Et økende antall droner vil også føre til utfordringer knyttet til trygg integrering med tradisjonell luftfart, både innen trafikkstyring (UTM og ATM) og utvikling av robuste løsninger for dynamisk kollisjonsdeteksjon og -unngåelse for autonome droner.



Kompetanse og markedsmuligheter

Norge er godt posisjonert til å inneha en viktig rolle for bærekraftige luftbårne droneløsninger, blant annet grunnet geografisk lange avstander, fjell og fjordarmer, spredt bebyggelse og til dels dårlig infrastruktur for bil og tog. Disse faktorene, kombinert med høy teknisk kompetanse i et bredt lag av befolkningen og politisk vilje til å opprettholde bosetting i hele landet, bidrar disse faktorene til at norske aktører kan ta en lederposisjon også internasjonelt i utviklingen av droneteknologi – både på leverandør- og sluttbrukersiden. En helhetlig tankegang er nødvendig for å ivareta ulike behov og oppnå konkurransedyktige verdikjeder for relativt små norske markeder, samtidig som mulighetene for eksport av teknologi og tjenester ivaretas. SINTEF besitter bred kompetanse innenfor relevante fagfelt knyttet til automatisering, robot- og drone-teknologier, logistikk, menneske-maskin-interaksjon, samt detaljkunnskap om mange aktuelle næringer med verdiskapningspotensiale, og kan ha en sentral rolle i å utforme gode fremtidsrettede løsninger og infrastruktur på dette området.



KONTAKTINFORMASJON

Aksel Transeth

Seniorforsker
SINTEF Digital
aksel.a.transeth@sintef.no

Mariann Merz

Forsker
SINTEF Digital
mariann.merz@sintef.no

Referanser og videre lesing

- [Ready for Take-Off? Integrating drones into the Transport System](#), International Transport Forum, Reserach Report, 2021
- [Air-mobility solutions: What they'll need to take off](#), McKinsey & Company, Article 2019
- [Europe is no in the fast lane to implementing UAS traffic manangement systems](#), Eurocontrol, eurocontrol.int, 2021



Sikker og effektiv trafikkavvikling

Lufttrafikkledelse kan optimeres og bidra til at luftfarten reduserer sine utslipp. Dette kan gjøres på kort sikt og virker ofte indirekte på utslippene gjennom grønne flykurver som også tar hensyn til lokale utslipp og støy i urbane og/eller andre sensitive områder. Nye og lettere flytyper krever også økt fokus på presis varsling av vær og vind, spesielt i krevende norske flyforhold.



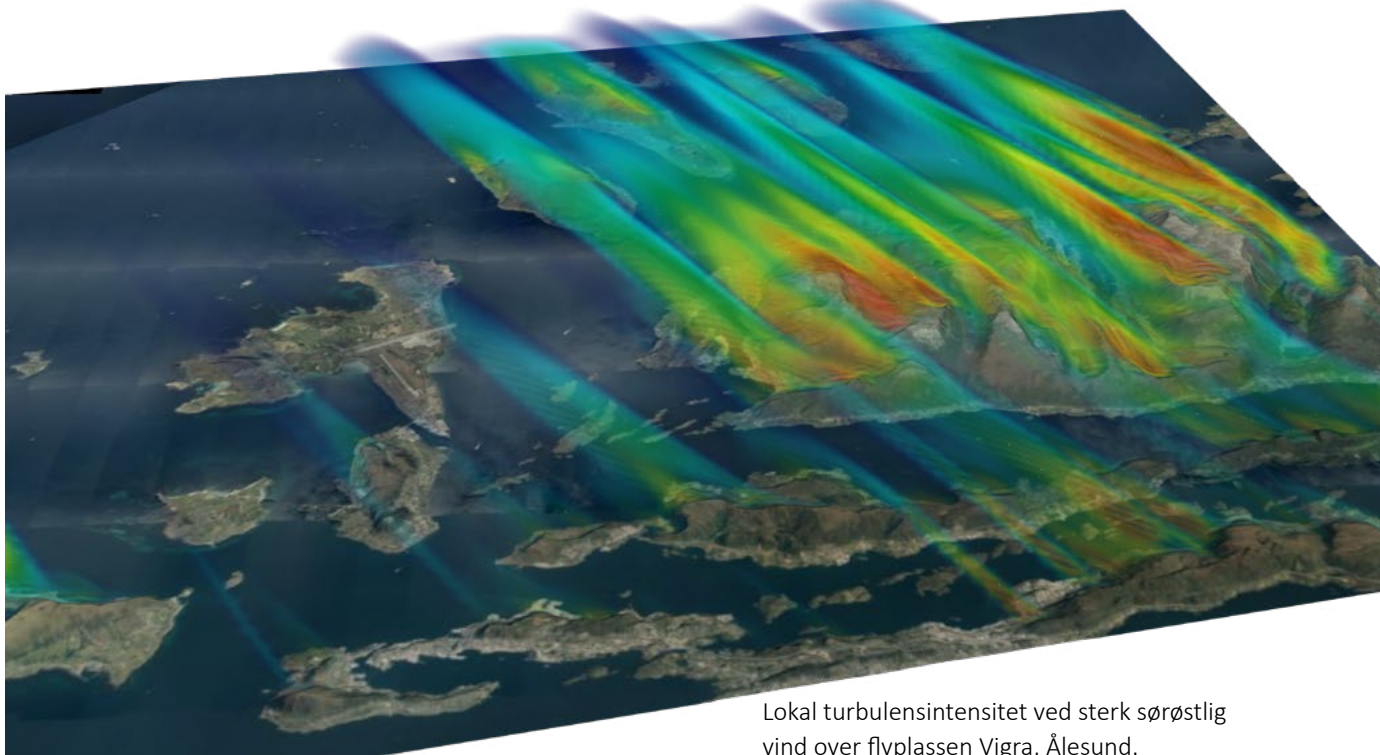
Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Flere tiltak for effektiv lufttrafikkledelse (ATM) er allerede under utvikling. Ett eksempel er at flyene gis en mer direkte og kortere rute mellom flyplassene slik at de ikke slipper ut mer forurensning enn nødvendig. Dagens trafikk styres ofte av bakkebaserte navigasjonshjelpemidler og trafikken organiseres i lange køer inn mot høyt trafikkerte flyplasser. Ved innføring av satellittbasert navigasjon og andre hjelpemidler som kan optimere rekkefølgen på landinger og avganger kan trafikken dirigeres mer effektivt og miljøvennlig. Digitaliseringen innen luftfarten vil tillate en mer effektiv og direkte avvikling av lufttrafikken, også på tvers av landegrensene.

Det grønne skiftet i luftfarten, og spesielt elektrifiseringen, kommer til å medføre et større volum av mindre og lettere flytyper. Små og lette fly er ekstra utsatt for vær og vind, og norske forhold med høye fjell og dype daler

skaper ekstra utfordringer for flyplasser hvor terrenget induisert turbulens er problematisk. Etter ulykken på Hammerfest i 2005, hvor et Widerøefly endte med nødlanding, ble det avgjort at sterk vind var hovedårsaken til ulykken. Dette har medført til økt fokus på lokale vindvarsel, og spesielt turbulensforhold rundt norske flyplasser. Andre metoder som kan etableres er bedre koordinering mellom aktørene på flyplassen og bedre planleggingsverktøy slik at en for eksempel stenger flyplassen for brøyting på det tidspunkt som egner seg best i forhold til snøbygger og den aktuelle trafikken.

Andre tiltak, slik som formasjonsflyging og bruk av høyder som ikke skaper contrails, prioritet for fly som forurenser mindre og en generell effektivisering av passasjerhåndtering, flystrømmer og operasjoner på lufthavnen vil alle bidra til en mer bærekraftig luftfart, og kan iverksettes på relativt kort sikt.



Lokal turbulensintensitet ved sterk sørøstlig vind over flyplassen Vigra, Ålesund.



Kompetanse og markedsmuligheter

SINTEF drifter per mai 2021 sammen med meteorologisk institutt turbulensvarsel for 18 norske flyplasser. Det er forventet at Avinor vil ha økt behov for slike varsel i de kommende årene. Dette åpner opp for ikke bare utvidelse av dagens system, men også ny forskning på nye metoder. Teknologien som dette er bygd på har sett innovasjon de siste årene, og det er nye verktøy og metoder som kan implementeres. Videre kan man også se for seg en tettere oppfølging og integrasjon av data som allerede produseres i for eksempel Remote Tower-applikasjoner. Med kortbanenettet og sentralisering av tårntjenester vil dette gi større utfordringer da flygelederne ikke er like tett på alle de individuelle flyplassene og ikke har samme lokale kjennskap til forholdene. Integrasjon av både vind- og turbulensvarsel i et augmented reality-system for Remote Tower vil gi umiddelbar merverdi. Kompetansen fra flytrafikk kan også overføres til dronetrafikk og flyforhold i urbane forhold.



KONTAKTINFORMASJON

Kjetil André Johannesen

Forskningsleder
SINTEF Digital
kjetil.johannesen@sintef.no

Markus Brachner

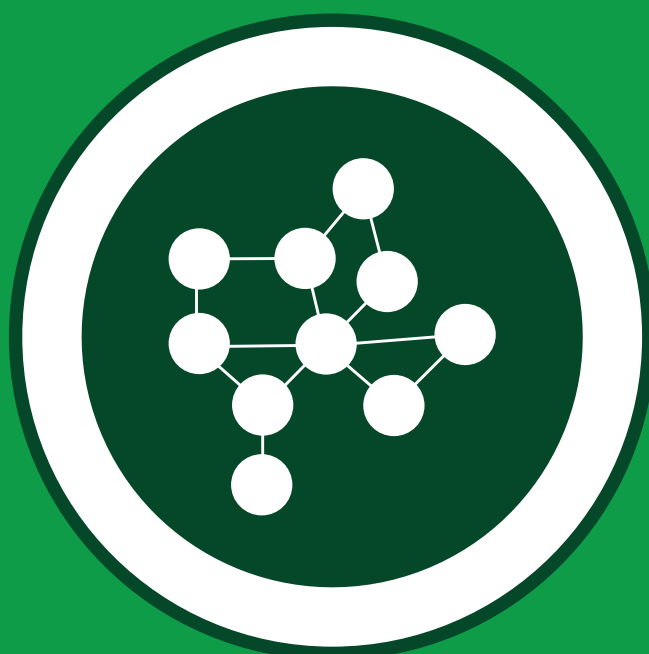
Forsker
SINTEF Digital
markus.brachner@sintef.no

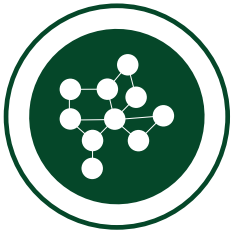
Referanser og videre lesing

- Rapport: [Wideroe DH8A on May 1st 2005, gear collapse on landing](#), The Aviation Herald
- [Hjemmesider for EU-prosjektene for Remote Tower](#)

5

Grønne og bærekraftige lufthavner





Infrastruktur for lading og fylling

Forlengelser av bakketiden, på grunn av fylling og lading av batteri-elektriske og hydrogen fly i rutetraffikk, kan gjøre flyene mindre lønnsomme. Teknologi som muliggjør sikker og effektiv bakke-logistikk er derfor svært viktig for overgangen til bærekraftig luftfart, og det er et stort behov for innovasjon både innen teknologi og regulatoriske aspekter.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Skal luftfarten kunne gjennomføre et grønt skifte, må infrastruktur på flyplassene utvikles parallelt med flyene. Det er et stort innovasjonsbehov innen reguleringer og krav til slik teknologi.

Lading av batterier. Småfly har en batteripakke i samme størrelsesorden som hel-elektriske biler (< 100 kWh). Hvor raskt batteriet kan lades avhenger av batteridesign og begrenses av levetid og økonomi. For lufthavnene kan ladeeffekten bli en utfordring. Regionale fly vil ha batteristørrelser på 3.5 MWh. For å oppnå akseptabel ladetid må ladeeffekten være opptil 10 MW. Denne effekten utgjør en stor last som vil være utfordrende å integrere i strømmettet ved de fleste lufthavner. Ladeinfrastrukturen kan bygge på kompetanse og erfaring fra tilsvarende systemer for lading av store fartøy og kjøretøy (for eksempel ferger og busser). Standardisering og kompatibilitet mellom tilbydere vil bli viktig. Videre er autonomi og sikkerhet viktige aspekter for effektiv logistikk.

Hydrogen-fylling. Viktige forskningsutfordringer er knyttet til optimale prosesser for håndtering av flytende hydrogen på flyplasser. Det vil være nødvendig å utvikle infrastruktur som kan håndtere store mengder med flytende hydrogen for rask

fylling, inkludert nye og skalerte komponenter som isolerte cryo-pumper, koblinger og rørledninger, samt varmevekslere og kompressorteknologi. Til tross for god termisk isolering, vil en begrenset mengde av hydrogenet fordampes, spesielt i forbindelse med overføring og bunkring, men også under langtidslagring. Termisk integrasjon og metoder for håndtering av avdampert hydrogen er nøkkelfordringer som må løses både for infrastruktur og logistikk på flyplassen, og ikke minst for drivstoffsystemet på flyet. Alternativt til rekondensering av avdampert hydrogen, kan hydrogengassen komprimeres og brukes som drivstoff på bakkekjøretøy, eller brenselceller for varme og kraftproduksjon. Optimal løsning vil avhenge av de unike logistikkaspektene på hver enkelt infrastruktur for lagring og fylling av flytende hydrogen. Utfordringen deles av andre sektorer, som havner som tilbyr LH₂ til maritim transport.

Et alternativ til rask fylling, er utskiftbare tanker og batterier. Dette krever nye typer flykonstruksjoner og regelverk, samt lagrings- og transportsystemer på flyplassen for å utføre de logistiske oppgavene.



Kompetanse og markedsmuligheter

Batterilading. Ladeprosessen og effektbehovet for fremtidige regionalfly kan sammenlignes med dagens elektriske ferger, med kort ladetid når fergen legger til kai for av- og påstigning. Dette er et felt hvor norsk industri er verdensledende leverandører. Videre vil mange av systemene som støtter nettilknytningen av ladesystemer for maritim og landbasert transport kunne bli relevant også for flyplasser. SINTEF har infrastruktur for å teste utstyr og kompetanse for å støtte den tekniske utviklingen, samt kompetanse innen sikkerhetsaspekter og overvåking av slike ladesystemer. Dette vil kunne hjelpe integrasjonen av automatiske og autonome systemer mot flyplassoperatører, samt avklare energi- og effektbehovene for fremtidig luftfart.

Hydrogen. Fylling avflytende hydrogen på fly vil ha mange fellestrekk med teknologien som trengs innen maritim sektor. Norsk LNG-industri har flere tiår erfaring med å håndtere overføringer av store mengder kryogene væsker. SINTEF har gjennom laboratoriearbeid og modellering vært en viktig bidragsyter i utviklingen av LNG-industrien, men har gjennom flere prosjekter de siste årene begynt sin omstilling av kompetanse til å løse problemer relatert til LH₂-håndtering.



KONTAKTINFORMASJON

Eirill Bachmann Mehammer

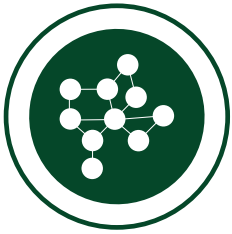
Forsker
SINTEF Energi
eirill.mehammer@sintef.no

Ida Hjorth

Forsker
SINTEF Energi
ida.hjorth@sintef.no

Referanse:

- [Introduction of electric aviation in Norway](#), Feasibility study by Green Future AS, 2018
- [LH₂ Airport requirements study](#), Lockheed-California, 1976, NASA CR-2700



Energisystem for utslippsfri lufthavn

Nye energibærere for fremtidige fly, krav til elektrifisering og bærekraft vil føre til endringer i energisystemer for flyplasser. For eksisterende bygningsmasse og energisystem som ikke er dimensjonert for det nye bruksmønsteret, er det viktig å finne synergier og nye løsninger.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

European Technology & Innovation Platforms for Smart Networks for Energy Transition (ETIP-SNET), lanserte i 2018 et dristig og helhetlig syn på det europeiske kraftsystemet kalt "Vision 2050". Visjonens hovedmål ble definert som en fullstendig karbonnøytral sirkulær økonomi innen 2050 i Europa. Et av hovedtrekkene i visjonen er tett samspill eller kobling mellom forskjellige energibærere i distribusjonsnettet for optimal utnyttelse av lokale ressurser. Nullutslipp innen luftfarten inkluderer også bidrag fra lufthavnen og tilhørende infrastruktur, og det er et stort fokus på dette for å sikre for luftfartens omdømme. Flyplassen har i dag et komplisert energisystem som skal dekke mange energityper og -behov, både for bakkeutstyr og for bygningsmassen på en driftssikker og pålitelig måte.

Tradisjonelle energisystemer i Norge baserer seg i hovedsak på elektrisitet. Introduksjon av nye energibærere og komponenter, som varme og hydrogen sammen med ulike former av energilagring og lokal energiproduksjon (f.eks. sol, vind), åpner nye muligheter for integrasjon og synergier mellom disse. Samtidig blir optimalisering av konfigurasjon og drift av slike systemer en krevende og komplisert oppgave. Slike infrastrukturinvesteringer er store, og det vil være behov for en større forståelse av fremtidens behov og utviklingen underveis.

Framtidens flyplass skal i tillegg fungere som en viktig og aktiv del av det store kraftsystemet, som kan bruke sine ressurser til å bidra aktivt til for eksempel håndtering av flaskehals i nettet og balansetjenester og samtidig utnytte fullt den eksisterende kapasiteten i kraftnettet. Dette kommer til å øke utnyttelsesgrad og lønnsomhet av flyplassens infrastruktur og ikke minst bidra til mer sikker drift av hele kraftsystemet.

Bakkesystemer involverer en stor gruppe teknisk utstyr som er nødvendig for normal drift og vedlikehold av en flyplass, både for å ta imot og klargjøre fly, rydde rullebanen og andre operasjoner. Det finnes allerede batteridrevet utstyr i operasjon i dag, og overgangen mot grønne lufthavner har allerede startet. Lading av kjøretøy blir en betydelig del av flyplassens energietterspørsel, som skal dekkes på en optimal måte. Bakkeutstyr har normalt ikke behov for lang rekkevidde, samt at kjøretøyene vil ha kort avstand til ladeinfrastruktur. Noen typer utstyr vil også kunne lades samtidig som de er bruk, f.eks. gjennom induktiv lading. God planlegging av ladeinfrastruktur og dens integrasjon i flyplassens energisystem, samt koordinert lading (smart lading) av bakkekjøretøy, vil derfor være viktig. I tilfeller med elektriske fly, vil det også være viktig å utvikle en smart ladestrategi for koordinering av ladebehovet til fly og bakkeutstyr.



Kompetanse og markedsmuligheter

Integrasjon av nye, bærekraftige energiløsninger på flyplasser medfører et betydelig behov for en utvidelse av eksisterende kompetanse. SINTEF har lang erfaring med optimalisering av energisystem, deriblant optimalisering av energisystemer med ulike energibærere. Det er også utviklet verktøy for å undersøke fremtidige behov i energisystemer, som veiledning for dagens investeringsbeslutninger (*Prosjektet Integrate*). SINTEF har også god kompetanse innen integrasjon av ladeinfrastruktur i kraftsystemet, med tilhørende styring av fleksibilitet fra ladeinfrastruktur.

Det er et behov for økt forståelse av flyplass-spesifikk kunnskap og problemstillinger, med hensyn til flyplassens drift og gjensidige påvirkning på både det interne og eksterne energisystemet. Dette inkluderer en bedre forståelse av optimal utbygging og drift av lade- og fyllinfrastruktur for bærekraftige fly og bakkekjøretøy. Videre kan det være flere tjenester som kan tilbys ved fremtidens lufthavner med innfasing av ny flyteknologi.



KONTAKTINFORMASJON

Eirill Bachmann Mehammer

Forsker
SINTEF Energi
eirill.mehammer@sintef.no

Andrei Z Morch

Forsker
SINTEF Energi
andrei.morch@sintef.no

Referanser og videre lesing:

- [Prosjekt FuChar](#) - Grid and Charging Infrastructure of the Future
- [H2020 prosjekt eNeuron](#), Optimising the design and operation of local energy communities based on multi-carrier energy systems
- [Prosjekt Integrate](#), a software system for the planning of energy systems with multiple energy carriers

6

Luftfartens samfunnsrolle





Samfunnsaksept

Vi lever i et land med lange avstander, og den norske luftfarten er avgjørende for privatpersoner, næringsliv og turisme. Psykologiske faktorer som har betydning for befolkningens reisevaner og brukeraksept knyttet til ny flyteknologi er i dag lite studert, selv om disse er utslagsgivende faktorer for å lykkes med omstilling til bærekraftig luftfart.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

I media de siste årene har, “flyskam” vært et mye brukt begrep og var ifølge Språkrådet det første skam-ordet som ble tatt i bruk i den norske klimadebatten. Ut fra tall fra de nasjonale reisevaneundersøkelsene (RVU), som ble gjennomført før Covid-19-pandemien, er det lite som tyder på at nordmenn har blitt mindre villige til å fly. Selv om antall forretningsreiser er noe redusert fra 2015 til 2017, har både antall innenlandsreiser og nordmenns feriereiser til utlandet økt i samme periode. Rapporten “Klima og folk” viser at nordmenn har fått mer klima- og miljøvennlige holdninger de siste årene, og at det har vært en liten økning i holdninger om å begrense flyreiser. Dette er i samsvar med annen forskning på klima og miljø. Aldersgruppen under 30 år er mer villig til å redusere antall flyreiser enn eldre aldersgrupper. En omstilling til bærekraftig luftfart kan gjøre folk enda mer villig til å fly enn de er i dag. Samtidig kan en innføring av ny miljøvennlig teknologi, som hydrogendrevne og batteridrevne fly, også føre til en ny vurdering av risikoen knyttet til det å fly og gjøre folk mer skeptiske til flyreiser.

Forskning viser at holdninger til miljø og folks vurdering av risiko (risikopersepsjon) påvirker reisevaner i befolkningen. Det er i dag lite forskning på brukeraksepten og endringer i reisevaner som følge av innføring av miljøvennlig teknologi i luftfarten. Denne typen forskning trengs ved en omstilling i luftfarten. Både når det gjelder bruk av ulike energibærere og bruk av teknologi på flyplass. Forskning som har studert andre transportformer viser at risikopersepsjon knyttet til blant annet bruk av hydrogen som energibærer, påvirker individers brukeraksept og villighet til å ta i bruk transportmiddelet. Andre faktorer av betydning for brukeraksept til miljøvennlig teknologi, er tillit til myndigheter og eksperter, og tillit til teknologien i seg selv. Ulykker i oppstartsfasen ved innføring av ny teknologi kan redusere tilliten og øke befolkningens vurdering av risiko. Åpen kommunikasjon og forskningsbasert informasjon i introduksjonsfasen er viktig for å forhindre en svekket tillit i befolkningen om det skulle oppstå negative hendelser.



Kompetanse og markedsmuligheter

Ved innføring av nye teknologiske løsninger i luftfarten er tverrfaglig forskning og samarbeid viktig. Gode tiltak kan mislykkes hvis de ikke tar hensyn til psykologiske drivkrefter og barrierer. Sosial aksept hos alle ulike brukergrupper av arbeids- og fritidsreiser, og andre berørte parter slik som ansatte på fly og flyplass, myndigheter, beslutningstakere og politikere er viktig. Utvikling av kommunikasjon med mål å øke den sosiale aksepten i befolkningen og andre berørte, krever en tverrfaglig tilnærming. Hvordan kommunikasjon om nytte og risiko skal utføres, er ennå ikke studert når det gjelder luftfart.

SINTEF har bred ekspertise på brukeraksept ved innføring av nye teknologiske løsninger i transportsektoren, og psykologiske faktorer som påvirker reisevanene våre. Brukeraksept og endring av reisevaner som følge av innføring av miljøvennlig teknologi i luftfarten er i dag lite studert. Samtidig er teknologien i stadig utvikling og samfunnet i stadig endring. Dette øker behovet for forskning innenfor dette området. Denne forskningen vil være viktig for at kommunikasjonsarbeidet bidrar best mulig i overgangen mot nullutslipps-luftfart, og unngår å motvirke den.



KONTAKTINFORMASJON

An-Magritt Kummeneje

Forsker

SINTEF Community

an-magritt.kummeneje@sintef.no

Isabelle Roche-Cerasi

Forsker

SINTEF Community

isabelle.roche-cerasi@sintef.no

Referanser og videre lesing

- Rundmo, T, Nordfjærn, T & Roche-Cerasi, I (2013). [Objective and Perceived Risk Estimates of Travel Modes in the Norwegian Public. Human and Ecological Risk Assessment](#). 19(6), 1664-1681, DOI: 10/gsx9og
- Thune-Larsen, H & Farstad, E (2018). [Reisevaner på fly 2017](#). TØI rapport 1646/2018.
- [Safe and efficient hydrogen fuel handling and technology](#) SINTEF Prosjekt SH2IFT



Sikkerhet og pålitelighet

Luftfart er en næring kjennetegnet av et særlig sterkt fokus på sikkerhet med en tilhørende uovertruffen sikkerhetsstatistikk, nasjonalt så vel som globalt. I overgangen til nye teknologiske plattformer er det viktig at rutiner for sikkerhet videreføres og kontinuerlig forbedres.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Sikkerhetsnivået innen luftfart sees ofte i sammenheng med bransjens gjennomarbeidede regelverksutforming og standardiserte operasjoner samtidig som sikkerhetskultur vektlegges på tvers av aktører. Luftfarten kjennetegnes også av kontinuerlig endring hvor deregulering og endrede markedsforhold har åpnet for nye aktørkonstellasjoner og organisasjonsformer. Lavprisselskap er eksempel på sistnevnte. Samtidig har luftfarten i Norge historisk nytt godt av et tillitsbasert partssamarbeid mellom regulerende myndigheter, flyselskaper og fagforeninger, noe som har resultert i relativt stabile rammevilkår også sett i et flysikkerhetsperspektiv. Bærekraftig luftfart vil innebære ulike typer endringer og i den sammenheng er det særdeles viktig å forstå hvilke rammebetingelser som vil være nødvendige for å ivareta flysikkerheten også i fremtiden. Endringer innenfor luftfarten må kunne vise til et **fremtidig sikkerhetsnivå som er minst like godt** som dagens for i det hele tatt å være aktuelle.

Rammevilkår for sikkerhet kan forstås som muligheter og begrensninger aktørene i luftfarten har til å kontrollere egen risiko, hvor rammevilkårene innebærer endrede markedsforhold, nasjonal og internasjonal regelverksutvikling, samt organisatoriske og teknologiske endringer. En bærekraftig luftfart vil innebære en overgang til nye måter å gjøre ting på, og slike endringer er derfor viktige å forstå i sammenheng med forutsetningene som er nødvendige for å sikre en vellykket overgang. Organisatoriske endringer, som eksempelvis press på partsamarbeidet og de ansattes arbeidsvilkår aktualiserer i hvilken grad den operative sikkerhetskulturen blir utfordret i flyselskapene. Det vil være svært viktig fremover å forstå rammevilkårenes betydning for en fremtidig og sikker bærekraftig luftfart – for slik å bedre forstå fremtidens risiko for å kunne håndtere utfordringene på forhånd i en bransje hvor konsekvensene av en ulykke er vidtrekkende.



Kompetanse og markedsmuligheter

SINTEF har omfattende erfaring med forskning knyttet til organisatoriske og samfunnsmessige endringer innenfor sikkerhetskritiske bransjer. I prosjektet "Globalisering og transportsikkerhet" sammenlignet SINTEF aktørene innenfor luftfart, vegtransport, jernbane samt sjøtransport med fokus på hvordan selskap og tilsynsmyndigheter kan arbeide for å skape gode rammebetingelser for transportsikkerhet under sterk internasjonal konkurranse. Gjennom helikoptersikkerhetsstudiene på norsk kontinentalsokkel har SINTEF også opparbeidet omfattende kompetanse på hvordan endrede teknologiske, organisatoriske og markedsmessige forhold påvirker sikkerheten, og hvordan samspillet menneske, teknologi og organisasjon forstås gjennom å anvende en MTO (menneske-teknologi-organisasjon)-tilnærming på utviklingstrekk.



KONTAKTINFORMASJON

Tor Erik Evjemo

Forsker

SINTEF Digital

torerik.evjemo@sintef.no

Referanser og videre lesing:

- [Fra statussymbol til allemannseie - Norsk luftfart i forandring](#), Norges offentlige utredninger, 22 (2019)
- Evjemo, T. E., "[Sikkerhet og autonomi i norsk luftfart - utfordringer og muligheter](#)", SINTEF rapport, SINTEF Digital, Sikkerhet og pålitelighet (2018)
- Rosness, R. et al. "[Globalisering og transportsikkerhet](#)", SINTEF-rapport (2018)



Grønn omstilling

Omstilling til bærekraftig luftfart forutsetter en god forståelse og mulighet til å agere på samspill mellom teknologisk utvikling og andre prosesser i samfunnet. Luftfarten er kommersielt finansiert, men implementering av bærekraftig luftfart forutsetter støtte fra rammebetingelser som økonomi, politikk og regulering, samt normer og verdier.



Forskningsutfordringer og innovasjonspotensial

Luftfarten har utviklet seg over lang tid rundt bruk av fossile løsninger med etablerte verdikjeder og infrastruktur, innarbeidede rutiner og praksis knyttet til operasjonsplanlegging, og regelverk og standarder for sikkerhet og beredskap. Omstilling krever store investeringer, og det er vesentlig økonomisk risiko for aktørene rundt avkastning på investeringer gjennom drift, usikkerhet rundt endring i etterspørsel, samt hastighet og retning på teknologisk utvikling (med mulige endringer i rekkevidde og kapasitet til nye fly). Omstillingen vil kreve nye forretningsmodeller og innsikt i hvordan bedriftsøkonomien påvirkes, også i samspill med samfunnsøkonomien, og hvilke virkemidler som bør tas i bruk for å nå målene.

Når luftfarten endres, vil samfunnet rundt også påvirkes. Innsikt i ringvirkninger for andre næringer, nå og i fremtiden, bør også ligge til grunn når beslutninger tas. Flere aspekter er viktige: økonomi, endringer i luftfartens klimafotavtrykk, andre næringer som påvirkes, endringer i ikke-prissatte effekter som støy, naturendring, arealbruk og beredskap, endringer i befolkningens transporttilbud.

Med utgangspunkt i sosiotekniske systemperspektiv kan vi forstå bærekraftig omstilling av luftfarten som avhengig av at det eksisterende fossile regimet destabiliseres (f.eks. gjennom karbonskatt, grad av sosial aksept) og at nye teknologiske løsninger gis gode vilkår for utvikling og vekst. En inngang til dette er å forstå innovasjonssystemene rundt nye teknologier (nettverket av aktører og institusjoner som er involvert i og påvirker utvikling og implementering) og de verdikjedene og forretningsmodellene som må etableres for at teknologiene kan fungere i praksis. Med utgangspunkt i denne forståelsen og hvorvidt disse evner å bidra med nødvendige ressurser (markedsutvikling, kunnskap, sosial aksept m.m.), kan man utlede teknologispesifikke anbefalinger til myndigheter og aktører i næringslivet for utvikling av strategier, politikk og virkemidler som kan støtte utviklingen av nye energibærere og drivstoff slik at de blir i stand til å dekke energibehov, operative hensyn, og beredskap.



Kompetanse og markedsmuligheter

SINTEF deltar aktivt i flere større forskningscenter og samarbeid, med tverrsektorielle og tverrfaglige tilnærminger til grønn omstilling (FME NTRANS, FME MoZEES, INTRANSIT, FME Klima2050). SINTEF har omfattende kompetanse på bærekraftig omstilling i ulike deler av transport- og energisystemet, og kombinerer bred kompetanse om transportdomenet med spisskompetanse på innovasjonsprosesser og bærekraftige transformasjon. SINTEF lange tradisjoner for utvikling av transportmodeller og samfunnsøkonomiske modeller som inkluderer ringvirkninger. Klimamodellering og ikke-prissatte effekter får økende fokus dette arbeidet. Vi jobber i økende grad på tvers av tekno-økonomisk modellering og forecasting og sosiotekniske scenarioanalyser.

Med vår forskning og kompetanse kan SINTEF bidra til å øke bedrifter og myndigheters forståelse av forutsetninger for- og konsekvenser av bærekraftig omstilling på sine felt. SINTEF kan også støtte kunder i å styre omstillingsprosesser. Ikke minst er SINTEF sin tverrfaglige kompetanse en viktig bidragsyter i å forene omstillingsprosesser på tvers av sektorer og myndighetsnivåer.



KONTAKTINFORMASJON

Kristin Tolstad Uggen

Forskningsleder
SINTEF Community
kristin.uggen@sintef.no

Markus Steen

Seniorforsker
SINTEF Digital
markus.steen@sintef.no

Kristin Ystmark Bjerkan

Seniorforsker
SINTEF Community
kristin.ystmark.bjerkan@sintef.no

Referanser og videre lesing

- *Klima2050*, <http://www.klima2050.no/>
- Rapport “*Greening the fleet: A technological innovation system (TIS) analysis of hydrogen, battery electric, liquefied bioogas, and biodiesel in the maritime sector*”, Markus Steen, Hanna Bach, Øyvind Bjørgum, Teis Hansen and Assiya Kenzhegaliyeva, 2019, ISBN 978-82-14-06385-1
- Bjerkan, K.Y., M. Ryghaug, T.M. Skjølsvold (2021): *Actors in energy transitions. Transformative potentials at the intersection between Norwegian port and transport systems*, Energy Research & Social Science, Vol 72, 101868

