

Nasjonal transportplan 2025-2036 – utredningsoppdraget



Illustrasjon: Aura Aero

Tilpasse lufthavnene til null- og lavutslippsfly

18. januar 2023

Innhold

1. Oppsummering og anbefaling.....	3
2. Innledning	6
3. Utviklingen innen null- og lavutslipps luftfartøy.....	7
3.1 Null- og lavutslippsfly.....	8
3.1.1 Null- og lavutslippsteknologi.....	8
3.1.2 Aktuelle null- og lavutslippskonsepter og tidslinje	9
3.2 Nye luftfartøy for ny luftmobilitet	11
3.2.1 Nye elektriske luftfartøy med vertikale egenskaper innen 2030.....	11
3.2.2 Nye luftfartøy vil skape ny luftmobilitet	13
4. Avinors kartlegging av alternative energibærere	14
4.1 Elektrisitet	15
4.2 Hydrogen.....	18
5. Hvordan og når lufthavnene bør tilpasses og tilrettelegges for luftfartøy basert på lav- og nullutslippsteknologi.....	20
5.1 Samfunnsøkonomiske vurderinger ved tilrettelegging for lavutslippsfly	20
5.1.1 Reduksjon av utslipp	21
5.1.2 Anslåtte virkninger for FOT-nettet.....	22
5.2 Avinors anbefaling for tilrettelegging på lufthavnene for null- og lavutslipps luftfartøy.....	24
5.2.1 Tilrettelegging på kort sikt (frem mot 2030).....	25
5.2.2 Tiltak i et lengre tidsperspektiv (fra 2030).....	27
5.2.3 Investeringsbehov	27
5.3. Avinors anbefaling for tilrettelegging for ny luftmobilitet (eVTOLs)	28
5.3.1 Avinors flyplasser som knutepunkt for nye luftfartøy og ny luftmobilitet	29
5.3.2 Nye landingsplasser for ny luftmobilitet.....	29
6. Sammenfallende energibehov på tvers av transportformene	30
6.1 Luftfart	30
6.2 Jernbane.....	32
6.3 Kyst.....	34
6.4 Vei	34
6.5 Vurdering av sammenfallende energibehov.....	35
7. Vedlegg.....	37
Vedlegg 1: Referanser til figur 1.....	37
Vedlegg 2: Tilrettelegging for lavutslippsfly – en samfunnsøkonomisk vurdering.....	39
Referanser	40

1. Oppsummering og anbefaling

Som del av arbeidet med det faglige grunnlaget til Nasjonal transportplan (NTP) 2025-2036 har Samferdselsdepartementet (SD) gitt Avinor i oppdrag å gjøre rede for behov for tilrettelegging på lufthavnene ved innfasing av null- og lavutslipps luftfartøy, herunder null- og lavutslippsfly og luftfartøy med vertikale egenskaper (eVTOLs¹).

Innfasing av null- og lavutslipps luftfartøy og tilstrekkelig tilgang til nye energibærere er en forutsetning for at luftfarten kan sikre nasjonal og internasjonal tilgjengelighet og samtidig redusere klimagassutslippene. Norge er velegnet og anerkjennes som et meget interessant testområde og første marked for innføring av null- og lavutslipps luftfartøy. Dette skyldes Norges avhengighet av luftfart, tilgang på (fornybar) energi, et unikt kortbanenett med korte flygninger, betydelig regional bosetning og næringsliv, aktive og interesserte aktører, og politisk vilje til å innføre null- og lavutslippsteknologi i transportsektoren. Dersom utviklingen av den nye generasjonen fly blir forsinket og ikke er klar når Dash 8-maskinene som trafikkerer kortbanenettet fases ut, vil det sannsynligvis heller ikke være egnede fly til å operere på dagens FOT-rutenett. Det er derfor viktig at Norge tar grep og går foran for å sikre at null- og lavutslipp luftflyene som utvikles blir tilpasset norske vinterforhold og rullebanelengdene på kortbanenettet. Ved å legge forholdene til rette for null- og lavutslippsfly vil man kunne redusere risikoen for manglende tilbud på dagens FOT-ruter. Helhetlig offentlig virkemiddelbruk i luftfarten i tidlig fase vil kunne bidra til å akselerere utviklingen, og til at løsningene som er aktuelle for det norske markedet kommer tidligere til Norge. Tiltak for kortbanenettet vil også et viktig steg på veien mot utvikling av nullutslippsluftfart i større skala globalt.

Utvikling av null- og lavutslipps luftfartøy har skutt fart de seneste årene. Hvis en ser bort fra nye typer drivstoff som kan benyttes i eksisterende flymotorer og infrastruktur (Sustainable Aviation Fuels – SAF), er det i hovedsak tre teknologispør som følges i luftfarten; helelektriske fly (batterielektrisk og brenselcelle), hybridelektriske fly, og fly hvor hydrogen forbrennes direkte i tilpassede motorer. Det er imidlertid usikkert når teknologiene fases inn, i hvilke segmenter, og i hvilket omfang.

Null- og lavutslipps luftfartøy vil ha behov for infrastruktur på lufthavnene for lading og fylling av hydrogen. Som del EU-kommisjonens grønne agenda «European Green Deal» gis det også tydelige politiske føringer og det forventes betydelig miljø- og klimaoppmerksomhet. ReFuelEU Aviation og Forordning om infrastruktur for distribusjon av alternative drivstoff (AFIR) er del av denne pakken og medfører krav til tilrettelegging på lufthavnene. Med en moderat innfasing av null- og lavutslippsfly og eVTOLs vil det samlede strømforbruket på Avinors 43 lufthavner øke fra ca. 250 GWh i 2022 til ca. 650 GWh i 2040, hvor null- og lavutslippsfly er forventet å stå for det største behovet. Dessuten vil effektuttaket øke signifikant. Dette vil medføre behov for styrket nettilknytning til lufthavnene. Det vil også være behov for kraft til produksjon av alternative drivstoff. Videre må det legges til rette for infrastruktur og løsninger for energiforsyning til luftfartøyene. Samlet investeringsbehov for nettilknytning og ladeinfrastruktur for nye luftfartøy anslås til mellom 1,2 og 1,6 mrd. kr. frem mot 2040. Kostnader til hydrogeninfrastruktur er ikke inkludert. Det understrekes at den underliggende usikkerheten er betydelig, både med hensyn til innfasing, teknologi og kostnader for tilrettelegging, særlig kostnaden for ladeinfrastruktur.

¹ Betegnelsen *electric Vertical Take-Off and Landing* (eVTOL) omfatter en rekke forskjellige nye luftfartøy som har som fellesnevner at de benytter elektrisk fremdriftssystem og at de kan ta av og lande vertikalt.

Det er betydelig usikkerhet knyttet til hva som kommer av null- og lavutslippsteknologi i NTP-perioden 2025-2036. På bakgrunn av oppdraget fra SD har Møreforsking AS (Bråthen m fl, 2022) bistått Avinor med overordnede samfunnsøkonomiske vurderinger ved tilrettelegging for lavutslippsfly. Som grunnlag for vurderingene har Møreforsking forsøkt å tallfeste virkninger av overgang til ny teknologi når det gjelder energibruk, utslipp og infrastrukturkostnader ved tilrettelegging for omlegging til 30-seters hybridelektriske fly. Flykostnader er også tallfestet. Den underliggende usikkerheten, både ved teknologi og kostnader, er vesentlig. Det er lagt til grunn en analyseperiode fra 2030 til 2045, og forutsatt at dagens flyflåte, ved vesentlige oppgraderinger, kan videreføres gjennom analyseperioden. Videre forutsetter analysene dagens rutenett, med dagens kapasitetsutnyttelse. Analysen kommer frem til at tiltaket vil kunne bidra til en betydelig reduksjon i klimagassutslipp, med henholdsvis 90 % og 87 % reduksjon fra selve flydriften på kortbanenettet i de to scenarioene som er vurdert. Tiltaket fremstår ikke samfunnsøkonomisk lønnsomt på relativt kort sikt da lønnsomheten påvirkes av flydriftskostnadene på rutene som ble vurdert, hvor økt produksjon med mindre fly enn i referansealternativet er dyrere å operer per sete, samt investeringsbehov og behov for statlig engasjement/virkemiddelbruk. Analysen antyder et behov for et betydelig statlig engasjement/virkemiddelbruk for innfasing av batteri- og hybridelektriske fly, både knyttet til ladeinfrastruktur på lufthavnene og til kjøp av flyrutetjenester på FOT-nettet. Den teknologiske usikkerheten er imidlertid betydelig, og beregningsresultatene fra analysen bør derfor betraktes som eksempler på økonomiske virkninger som kan oppstå. Videre viser Møreforsking til at det kan ligge et potensial for bedret tilpasning av null- og lavutslippsfly, blant annet ved å se på rutestruktur. Møreforsking påpeker også at nyere forskning kan indikere en raskere vekst i CO₂-prisene enn hva dagens karbonprisbane gir, noe som i så fall vil kunne bedre lønnsomheten av tiltaket. Den underliggende usikkerheten i beregningene vil uansett være stor på dette tidspunkt.

Møreforsking viser til Transportøkonomisk institutt (TØI) analyse av samfunnsmessige konsekvenser ved fremskyndet innfasing av elfly i Norge (Wangsness m. fl) fra 2021 for andre mulige effekter som ikke er prissatt. Møreforsking er av den oppfatning at TØIs vurderinger også kan være representative for hybridelektriske fly, hvor særlig tidligfase uttesting og iverksetting kan gi den potensielt største gevinsten blant virkningene som trekkes frem av TØI. Dette vil sannsynligvis være «førsteordenseffektene» som gir raskere utbredelse, og som vil danne en premiss for eksempel for nettverkseffekter og rollen for null- og lavutslippfly i distriktspolitikken.

Det er stor usikkerhet knyttet til hvilke konkrete null- og lavutslippsløsninger som kommer, og når de kommer. Avinors oppfatning er derfor at dette krever en fleksibel og skalerbar tilnærming som bidrar til å dekke markedets behov, men som også stegvis tar inn stadig økende teknisk/operativ modenhet og dermed reduserer risikoen for feilinvesteringer. Som eier, driver og utvikler av lufthavner er Avinor den naturlige tilrettelegger for tiltak på lufthavnene, og Avinor vil legge til rette for at adekvat infrastruktur på lufthavnene for null- og lavutslipp luftfartøy bygges ut i takt med markedets behov. På bakgrunn av dette foreslår Avinor en tilnærming med tiltak for tilrettelegging for null- og lavutslipp luftfartøy, i et kort og lengre tidsperspektiv, hvor tiltakene på kort sikt er viktige for å bygge opp under det norske markedet som testområde og første marked for innføring av null- og lavutslipp fly og eVTOLs.

- Tilrettelegging på kort sikt (frem mot 2030)
 - Nettilknytning
 - Fremføring av strøm og tilrettelegging for ladeinfrastruktur på utvalgte lufthavner for de første flygningene med mindre batterielektriske og hybridelektriske fly

- Fremføring av strøm på øvrige lufthavner som grunnlag for tidlig fase utrulling av null- og lavutslipps luftfartøy
 - Pilotering av teknologi og konsepter for energiforsyning
 - Videre kartlegging av hydrogen som energibærer i luftfarten og tilhørende infrastrukturbehov
- Tilrettelegging i et lengre tidsperspektiv (fra 2030)
 - Avinor vil i nær dialog med flyprodusentene, flyselskapene og luftfartsmyndighetene følge utviklingen i markedet og legge til rette for at adekvat infrastruktur bygges ut i takt med markedets behov. Infrastrukturen må være skalerbar og stegvis ta inn økende modenhet i tekniske løsninger og operative konsepter.

De foreslåtte tiltakene på kort sikt (frem mot 2030) er samlet anslått til 520 mill. kr. Kostnader for pilotering av teknologi og konsepter for energiforsyninger, samt for tilrettelegging av anlegg og tekniske løsninger, kommer i tillegg. Det presiseres at dette er estimater. Avinor vil fortløpende revidere beslutningsunderlaget for å ha oppdatert oversikt av investeringskostnader for nye tilknytninger til strømmettet. Det vises også til kap. 7.1 i prioriteringsoppdraget i NTP hvor det skal gjøres en analyse av forventet teknologiutvikling. Resultatene av denne analysen vil kunne få konsekvenser for estimatene.

Investeringene knyttet til omstilling av luftfarten, både på kort og lang sikt, må finansieres. Avinors vanskelige økonomiske situasjon som følge av inntektsbortfallet under koronapandemien, endring i taxfree-ordningen, underregulerte luftfartsavgifter, myndighetspålegg, samhandling med Forsvaret med mer gjør at Avinor samlet sett trolig ikke har handlingsrom til å gjennomføre nødvendige investeringer på lufthavnene for å legge til rette for null- og lavutslipps luftfartøy. Helhetlig virkemiddelbruk i luftfarten, på samme måte som en har gjort i andre deler av transportsektoren, er derfor nødvendig for å dekke inn omstillingskostnadene i luftfarten, både på kort og lengre sikt. Avinor ønsker å bidra med kompetanse og innsikt i luftfartens økosystem for å få etablert langsiktige, forpliktende og kraftfulle virkemiddelpakker for å bidra til at luftfarten når klimamålsettingene. Videre er det viktig at Avinors rammebetingelser gir rom for å bidra til bærekraftig omstilling av luftfarten.

Overordnet kartlegging av utvikling og innfasing av null- og lavutslippsteknologi og energibehov viser at det er sammenfallende energibehov. På bakgrunn av denne overordnede kartleggingen vurderer Avinor at større grad av deling av innsikt og planer for innfasing av null- og lavutslippsløsninger i transportsektoren kan gi energisektoren nyttige innspill om transportsektorens langsiktige kraftbehov, som grunnlag for den langsiktige utviklingen av strømmettet. Tilgang på kraft vil være en forutsetning for at transportpolitiske klimamål kan nås samtidig som mobiliteten i samfunnet opprettholdes. Videre har transportsektoren behov for tilgang til nye energibærere som krever etablering av produksjonskapasitet og distribusjonsløsninger. Større grad av felles kommunikasjon av behov til markedet, på tvers av transportvirksomhetene, kan bygge opp under etablering av produksjon og distribusjon av nye energibærere i områder med sammenfallende behov. Det anbefales at det gjøres nærmere vurderinger rundt samfallende energibehov i det videre arbeidet med NTP 2025-2036, blant annet sett opp imot kap. 7.1 i prioriteringsoppdraget.

2. Innledning

Luftfarten bidrar til god tilgjengelighet til alle deler av landet og til resten av verden. På grunn av topografi og lange geografiske avstander finnes det i mange tilfeller ikke alternativer til luftfart i Norge, og vi er mer avhengig av flytransport enn de fleste andre land. Samtidig er global oppvarming en av vår tids aller største utfordringer, og luftfarten må som andre sektorer gjennomføre omfattende tiltak for å redusere klimagassutslippene. Innfasing av null- og lavutslipps luftfartøy og tilstrekkelig tilgang til nye energibærere er en forutsetning for at luftfarten kan sikre tilgjengelighet og samtidig redusere klimagassutslippene. Utslippene fra driften av lufthavnene må også reduseres. Videre skaper digitalisering og teknologisk utvikling i samfunnet generelt, og i luftfarten spesielt, muligheter for nye måter å løse samfunnets behov for mobilitet på. Droner og eVTOLs representerer et nytt kapittel i luftfarten som kan omtales som «ny luftmobilitet». Dette gir mulighet for bedre og mer bærekraftig luftmobilitet og det vil være behov for tiltak både på bakken og i luftrommet for å understøtte denne utviklingen.

Avinor har gjennom mange år arbeidet med bærekraftig utvikling av luftfarten og har satt som mål at lufthavndriften skal være fossilfri innen 2030. Sammen med Norwegian, SAS, Widerøe, NHO Luftfart og LO, har Avinor satt et mål om at all flytrafikk i og fra Norge skal være fossilfri innen 2050. Oppdraget knyttet til å tilrettelegge lufthavnene for null- og lavutslipps luftfartøy og ny luftmobilitet som del av utredningsoppdraget til NTP 2025-2036, er i tråd med Avinors strategiske satsninger for å bidra til omstilling av luftarten og innføring av ny luftmobilitet. NTP-oppdraget gir et godt grunnlag for å synliggjøre den teknologiske utviklingen innenfor luftfarten og infrastrukturbehovet som denne fører med seg. Som del EU-kommisjonens grønne agenda «European Green Deal» gis det også tydelige politiske føringer og det forventes betydelig miljø- og klimaoppmerksomhet. ReFuelEU Aviation og Forordning om infrastruktur for distribusjon av alternative drivstoff (AFIR) er del av denne pakken og medfører krav til tilrettelegging på lufthavnene. Etterlevelse av AFIR er et krav i forslag til reviderte retningslinjer for TEN-T, og vi viser til Avinors svar på kap. 8.8 i utredningsoppdraget for nærmere redegjørelse om status i forhold til TEN-T.

Avinors svar på oppdraget om å tilpasse lufthavnene til null- og lavutslippsfly bygger på egne kartlegginger og dialog med markedet, offentlige myndigheter og andre interessenter gjennom arbeidet med strategiske initiativer. Videre arrangerte Grønt luftfartsprogram, hvor Avinor sammen med Luftfartstilsynet, Sintef og Norsk Industri er initiativtakere, konferanse om Grønn regional luftfart i oktober i 2022². Konferansen hadde bred internasjonal og nasjonal deltagelse fra hele luftfartens økosystem og ga nyttige innspill i arbeidet med å svare ut departementets oppdrag. Videre har Avinor hatt dialog med Luftfartstilsynet innfasing av null- og lavutslippsfly og ny luftmobilitet i luftfarten. De øvrige transportvirksomhetene har bidratt med innspill til kap. 6 om sammenfallende energibehov.

Utslippskutt i luftfarten fordrer tilrettelegging på flere områder, og Avinor arbeider derfor med en rekke tiltak for å kutte egne utslipp og bidra til omstilling av luftfarten. Dette NTP-oppdraget er avgrenset til infrastruktur på lufthavnene for null- og lavutslippsteknologi. Arbeidet med bærekraftig flydrivstoff (SAF) er derfor ikke en del av oppdraget. Med unntak av små elektriske fly, er SAF imidlertid den eneste fossilfrie muligheten som er tilgjengelig i dag, og den eneste løsningen for de lange flygningene – trolig også på lengre sikt. SAF vil derfor spille en helt sentral rolle i mange år fremover ved å redusere utslipp i eksisterende flåte før null- og lavutslippsteknologier kan ruller ut i betydelig omfang.

² Se konferansen hjemmeside for mer informasjon: <https://greenaviation.no/zero-emission-regional-aviation-conference>

I kapittel 3 presenteres den teknologiske utviklingen innen null- og lavutslipps luftfartøy og ny luftmobilitet. Kapittel 4 omhandler Avinors kartlegginger av alternative energibærere. I kapittel 5 presenteres overordnede samfunnsøkonomiske vurderinger av tilrettelegging for lavutslippsfly før Avinor gjør nærmere rede for hvordan og når lufthavnene bør tilpasses og tilrettelegges for luftfartøy basert på lav- og nullutslippsteknologi og ny luftmobilitet. I kapittel 5 gjøres det også vurderinger opp mot behov for tilrettelegging for å redusere utslippene fra lufthavndriften. Kapittel 6 vurderer sammenfallende energibehov på tvers av transportsektoren.

3. Utviklingen innen null- og lavutslipps luftfartøy

Det foregår en rekke utviklingsløp for innfasing av null- og lavutslippsteknologi i luftfarten, med ulike konsepter for ulike markedssegmenter. Utviklingen har skutt fart siden 2017, og ifølge konsultantselskapet Roland Berger er det nå over 300 kjente initiativ (Roland Berger, 2021). En stor andel av initiativene er relatert til helelektriske og hybrid-elektriske løsninger, men de siste årene har flere hydrogeninitiativ kommet til, i hovedsak innenfor regional luftfart og større kommersielle fly.

Vi skiller mellom to hovedkategorier av luftfartøy, hhv. ordinære fly med fastmonterte vinger (fixed wing) og luftfartøy med vertikale egenskaper (eVTOLs – electric Vertical Take-Off and Landing). Det er mye som er felles ved utviklingen av disse luftfartøyene, herunder batterier, elektriske motorer, styringssystemer osv. I denne besvarelsen skiller vi mellom null- og lavutslippsfly (fixed wing) og luftfartøy med vertikale egenskaper (eVTOLs og droner), med samlebetegnelsen null- og lavutslipps luftfartøy. Luftfartøyene vil dekke ulike segmenter av markedet, og har ulike krav til infrastruktur.

- Null- og lavutslippsfly
 - Fixed wing – ordinære fly med fastmonterte vinger
- Luftfartøy med vertikale egenskaper
 - Multikopter eVTOL – kan ta av og lande vertikalt ved hjelp av flere elektriske motorer og rotor (i motsetning til helikopter som har en løfterotor).
 - Lift+cruise eVTOL – kan i likhet med multikopter ta av og lande vertikalt ved hjelp av flere elektriske motorer og rotor. Lift+cruise eVTOL har i tillegg vinger for å redusere energiforbruket ved horisontal flygning og har dermed lengre rekkevidde. Innenfor denne kategorien finnes igjen flere ulike konsepter som rene lift+cruise konsepter med faste løfte- og fremdriftsrotorer, tiltwing, tiltrotor, m.fl.

Utviklingen innenfor null- og lavutslippsfly blir gjort rede for i kap. 2.1. Kapittel 2.2 beskriver utviklingen innen eVTOLs og ny luftmobilitet.

Den teknologiske utviklingen går raskt og det kommer stadig informasjon om nye aktuelle konsepter for ulike segmenter av markedet. Redegjørelsen for utviklingen innen ulike null- og lavutslippsløsninger i notatet er basert på kjent kunnskap ultimo 2022. Det er ikke en inngående analyse av de ulike energibærerne og null- og lavutslippsteknologiene, men en overordnet beskrivelse av utviklingen som grunnlag for å vurdere hvilke behov for tilrettelegging alternativene utløser på lufthavnene. Selv om fokus i dette notatet er på fysisk behov på lufthavnene, er det viktig å understreke at det er behov for å legge til rette for utvikling av hele verdikjeden, herunder også regelverk, standarder og andre offentlige myndighetsoppgaver, for å understøtte utvikling og implementering av null- og lavutslipps luftfartøy i det norske luftfartsmarkedet. Utviklingen innen ny luftmobilitet vil også kreve utvikling av et komplett nasjonalt økosystem som omfatter blant annet vedlikehold/reparasjon og pilotopplæring. Dette underbygger behov for en helhetlig tilnærming.

Utviklingen innenfor null- og lavutslippsteknologi i luftfarten vil oppdateres og bli nærmere gjort rede for i transportvirksomhetenes svar på kap. 7.1, spørsmål 3 i prioriteringsoppdraget.

3.1 Null- og lavutslippsfly

3.1.1 Null- og lavutslippsteknologi

Luftfarten har opplevd en gradvis forbedring av fly- og motorteknologi de siste tiår, slik at utslipp målt per setekilometer har blitt betydelig redusert. Samtidig er det klart at det må nye teknologiske løsninger på plass for at utslippene fra luftfarten skal reduseres for å nå klimamålene.

Det er per i dag ikke én teknologi eller én type drivstoff vi kan peke på som løsningen for luftfarten. Det er derfor et betydelig behov for forskning og innovasjon knyttet til utvikling av både teknologi og drivstoff inntil hensiktsmessige valg kan tas for å dekke behovet i ulike segmenter av markedet.

Hvis en ser bort fra nye typer drivstoff som kan benyttes i eksisterende flymotorer og infrastruktur, er det i hovedsak tre teknologispør som følges i luftfarten i tillegg til energieffektivisering (Clean Aviation, 2022):

- Helelektriske fly (batterielektrisk og brenselcelle)
- Hybridelektriske fly
- Fly hvor hydrogen forbrennes direkte i tilpassede motorer

I helelektriske fly hentes energien enten fra batterier og/eller gjennom strømproduksjon ved bruk av brenselcelle som anvender flytende hydrogen eller hydrogen i gassform.

Hybridelektriske fly kan ha en rekke forskjellige kombinasjoner (tabell 1), og de har litt ulike benevnninger i litteraturen. Eksempler på løsninger er parallell hybrid og serie/delvis parallell hybrid. I den førstnevnte kan kraft bli produsert både ved hjelp av en gassturbin og parallelt med batterier, og i sistnevnte produserer en termisk motor både skyvekraft og strøm til elektriske motorer. De elektriske motorene drives parallelt med strøm. Flere av designene som er skissert åpner for såkalt «distributed propulsion» med flere mindre elektriske motorer montert på vingene, samt montering av elektriske motorer på vingetipper.

I fly hvor hydrogen forbrennes direkte må dagens jetmotorer modifiseres, og ikke minst vil flytende hydrogen (-253° C, som betyr kryogenisk) kreve nye design og tilpasset infrastruktur. I slutten av november 2022 utførte Rolls Royce tester på bruk av hydrogen på en konvensjonell jetmotor (Legget, 2022). Testen avdekket at det er mulig å starte og drifte en konvensjonell motor på lav hastighet med hydrogen, men det understrekes at det fortsatt er betydelig behov for innovasjon og investeringer før vi kan se disse løsningene i kommersiell bruk.

Tabell 1: Ulike null- og lavutslippsløsninger i luftfarten

	Batterielektrisk	Seriehybrid	Parallellhybrid	Brenselcelle	Hydrogen
Motor	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk + konvensjonell	Elektrisk	Gassturbin
Energilagring	Batteri	Batteri + turbogenerator eller brenselcelle/H2	Batteri + flytende drivstoff (+ev. turbogenerator)	Brenselcelle (+ev. batteri) og hydrogen	Hydrogen

Helelektriske fly med bare batterier til energilagring vurderes med dagens kjente teknologi til kun å være relevant for små passasjerfly (9 til 19 seter) i det nærmeste tiåret. På grunn av vektbegrensning for små passasjerfly sertifisert etter såkalt CS-23 regelverk, samt krav til drivstoff-/energireserver, vil

disse flyene ha begrenset rekkevidde og dermed dekke et behov på korte ruter. Radikale nye flydesign og forbedringer i energitetthet i batterier kan endre dette, men det gjenstår mye utvikling og krevende sertifiseringsprosesser før endelige ytelser i helt nye konsepter kan bekreftes. Dette gjelder også hybridelektriske løsninger og helelektriske fly med brenselcelleteknologi, men disse skal kunne ha lengre rekkevidde og større lasteevne tilpasset det regionale markedet.

Hydrogenforbrennende løsninger skal også kunne anvendes på det regionale markedet og potensielt for enda lengre distanser. Samtlige løsninger har store behov for forskning, utvikling og innovasjon før de kan sertifiseres og tas i bruk i markedet. Fordi de har forskjellige egenskaper, vil de også kunne bidra til å løse forskjellige markedsbehov. Felles for helelektriske og hybridelektriske løsninger er behovet for effektiv batteriteknologi og tilgang til adekvat lading og/eller hydrogen på lufthavnene.

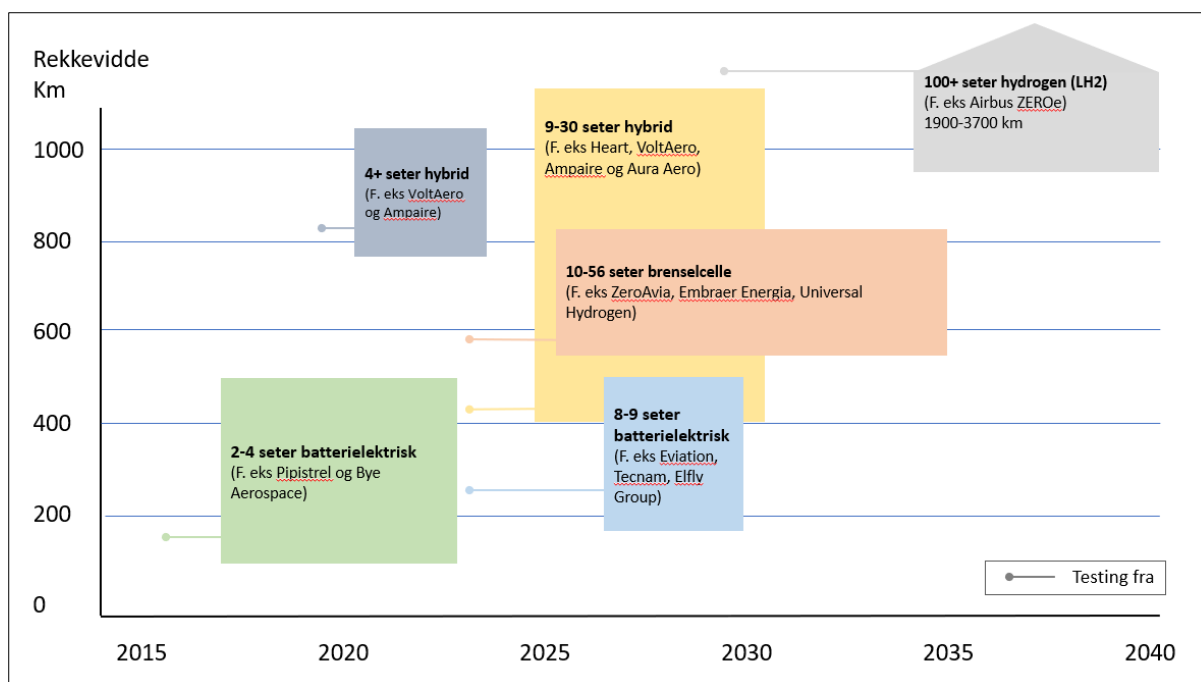
Begrensinger ved dagens batteriteknologi forklarer også hvorfor flere utviklere ser til hydrogen som energibærer, enten i en brenselcelle eller ved direkte forbrenning i tilpassede gassturbiner. Energiinnholdet per vekt enhet hydrogen er stort, men det er krevende å lagre både komprimert og flytende hydrogen om bord i luftfartøylene.

Sertifiseringskravene i luftfarten gjør det hensiktsmessig å teste nye fremdriftssystemer i eksisterende fly, såkalt retrofit. Selskapene ZeroAvia og Universal Hydrogen utvikler eksempelvis konsepter med brenselceller og hydrogen for ombygging av fly benytter på regionale ruter, som blant annet Cessna Grand Caravan, Dash 8 og ATR 72 (Polek, 2022). Det er ikke umulig at denne type løsninger (retrofits) kan bli satt i regelbunden rutetraffikk før nye elektrifiserte fly har gjennomgått påkrevde sertifiseringsprosesser.

3.1.2 Aktuelle null- og lavutslippskonsepter og tidslinje

Basert på tilgjengelig informasjon fra fly- og motorprodusenter utarbeidet Luftfartstilsynet og Avinor i 2020 en oversikt over aktuelle null- og lavutslippskonsepter (Luftfartstilsynet og Avinor, 2020). Figur 1 er en oppdatert versjon av denne oversikten og indikerer når de ulike null- og lavutslippsflyene vil være i test og etter hvert sertifisert.³ Oversikten indikerer også hva slags rekkevidde en med dagens informasjon kan anta at de vil få basert på fremdriftsteknologien som er valgt. Merk at dette er usikre anslag, og tas med her for å eksemplifisere at flere aktører utvikler ulike teknologispør i markedet, som vil kreve ulike former for tilrettelegging på lufthavnene.

³ Se vedlegg for nærmere informasjon om aktuelle aktører.



Figur 1: Grafisk fremstilling av rekkevidde for null- og lavutslippsfly samt når utvalgte aktører forventer å ha sine produkter i markedet. Basert på offentlig informasjon fra markedet⁴.

Med utgangspunkt i oppdatert informasjon fra markedet synes det å peke seg ut noen hovedendringer fra 2020:

- Flere hybrid-elektriske løsninger og hydrogen (både i brenselcelle og i turbogenerator), ref. blant annet Clean Aviation sin tildeling i 2022 (Clean Aviation, 2022)
- Mindre batterielektriske fly (heller mot 9 passasjerer, i alle fall i tidlig fase) pga. rekkeviddebegrensinger og driftskostnader
- Større batterielektriske fly (20-50 passasjerer) blir mindre aktuelt på grunn av rekkeviddebegrensinger
- Bruk av brenselcelle og batteri i segmentet mellom 50-100 passasjerer

Det er per 2022 bare ett typesertifisert batterielektrisk fly (Pipistrel Velis Electro – to seter) i markedet. Det testes både batterielektriske og hybridelektriske fly med opptil 9 seter, og det er flere aktører som har ambisjoner å fly kommersielt i dette segmentet fra ca. 2024-2026. Widerøe trekker frem at et 9-seters fly er en viktig milepæl på veien mot utslippsfrie kortbaneflygninger da det gir muligheten for å teste ut kommersiell drift av nullutslippsfly, samtidig som mindre fly av denne typen vil kunne gi muligheten for økt rutefrekvens på mindre trafikkerte ruter og som supplement til eksisterende ruter (Widerøe Zero, 2021). Det er flere selskaper som arbeider med brenselceller og hydrogen for mindre fly med under 19 seter, med sikte på sertifisering fra 2025.

Informasjon fra markedet indikerer større hybridelektriske fly, med kapasitet opp mot 30-50 seter, nærmere 2030. I dette segmentet vurderes ulike teknologiske konsepter, både hybridelektriske konsepter og hydrogen, enten med brenselceller eller gasturbin. For de største flyene til bruk på regionale ruter vurderes hydrogen som en aktuell energibærer. Utviklingsløpet for større fly er

⁴ Se vedlegg 7.1 for mer detaljert informasjon.

lange, og det er først etter 2030 at det er realistisk at teknologi for større regionale fly vil bli tatt i bruk kommersielt (Transport & Environment, 2022).

Uavhengig av konsept er det fokus på energieffektivisering, og mellomlagringsbatterier til bruk ved taksing og take-off blir trukket frem som et aktuelt virkemiddel for dette. Dette er også løsninger som vil kunne ha behov for lading på lufthavnene.

I flere luftfartsmarkeder med betydelig innslag av regional luftfart er det høye ambisjoner for å fase inn null- og lavutslippsteknologi. Air New Zealand har eksempelvis ambisjoner om å erstatte eller redusere utslippene fra sin flåte av Dash 8-300 fra 2030 og planlegger derfor for minimum ett nullutslippsfly i kommersiell drift fra 2026 for å legge grunnlaget for utprøving og tiltak i flyflåten. Selskapet har gjennomført en global markedsdialog for innspill til nye fremdriftskonsepter for å redusere utslipp og driftskostnader hvor de mottok over 30 formelle svar (22 fra gründerselskaper) og 40 nye flykonsepter. Ifølge selskapet var 24 % av konseptene batterielektriske, 38% hydrogen, og 38% hybride konsepter (Harrington, 2022). Også på Island er det planer om nullutslippsruter innenlands før 2030, og Iceland Air opplyser at de vurderer både hydrogen og hybridløsninger (Doran, 2022).

Norge er velegnet og anerkjennes som et meget interessant testområde og første marked for innføring av null- og lavutslippsfly. Dette skyldes Norges avhengighet av luftfart, tilgang på (fornybar) energi, et unikt kortbanenett, betydelig regional bosetning og næringsliv, aktive og interesserte aktører, og politisk vilje til å innføre null- og lavutslippsteknologi i transportsektoren.

Norge har 21 flyplasser med rullebane kortere enn 1199 meter. Alle disse flyplassene er en del av FOT-rutenettet og alle rutene opereres av Widerøe med flytypen Dash 8 -100/200 maskiner med 39 seter. Dash 8 100/200 maskinen er i dag den eneste flytypen med over 30 seter og med trykkabin som kan operere uten store begrensninger i last og/eller rekkevidde på baner under 1199 meter. Flytypen ble lansert på midten av 1980 tallet, men produseres ikke lenger. Widerøe har gjennomført tiltak slik at levetiden til dagens flåte vil kunne forlenges. De Havillands ESP PLUS hevder å kunne forlenge levetiden på dagens Dash 8-100/200 med en dobling av levetiden fra 80 000 til 160 000 timer (De Havilland, 2022). Dersom utviklingen av den nye generasjonen fly blir forsinket og ikke er klare når Dash 8 maskinene som trafikkerer FOT-rutene fases ut, vil det sannsynligvis ikke være egnede fly til å operere på dagens krav på FOT-rutenett. Det er derfor viktig at Norge tar grep og går foran for å sikre at null- og lavutslippsflyene som utvikles blir tilpasset norske vinterforhold og rullebanelengdene på kortbanenettet. Videre foreligger en risiko for manglende interesse fra operatører, og manglende tilgang på nye luftfartøy. Helhetlig offentlig virkemiddelbruk i tidlig fase kan bidra til å akselerere utviklingen og bidra til at løsningene som er aktuelle for det norske markedet vil kunne komme tidligere til Norge.

3.2 Nye luftfartøy for ny luftmobilitet

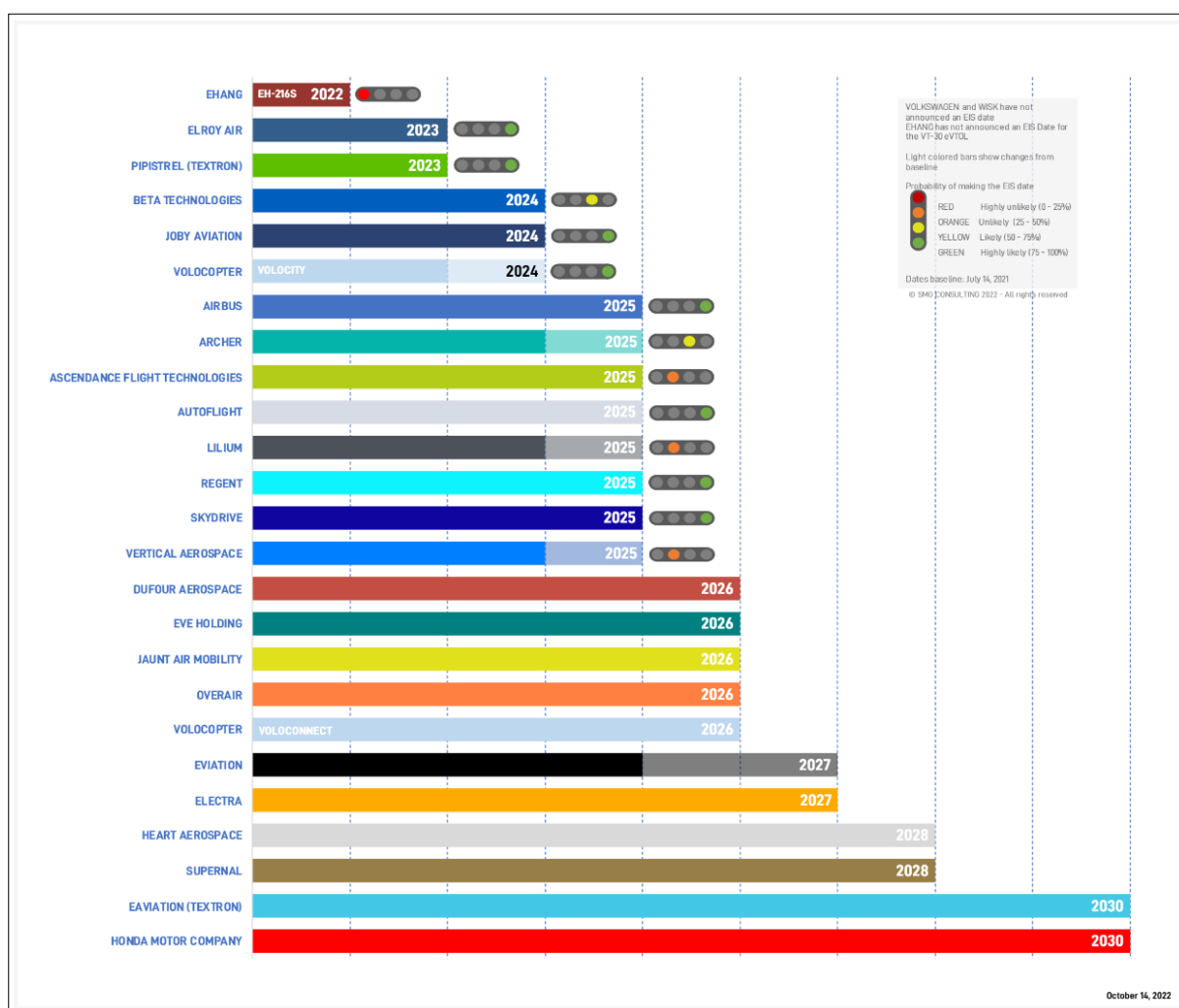
3.2.1 Nye elektriske luftfartøy med vertikale egenskaper innen 2030

Utvikling av nye eVTOL luftfartøy (electric Vertical Take-Off and Landing) for transport av passasjerer og tyngre frakt har allerede pågått i mer enn ti år. De nye luftfartøyene er en form for hybrid mellom helikopter og fly. De har vertikale egenskaper som gjør at de kan ta av og lande vertikalt som et helikopter, men har også vinger som skaper løft slik at de flyr med høyere hastighet og lavere energiforbruk. De fleste av disse nye luftfartøyene har batterielektrisk fremdrift.

De første eVTOLs vil kunne transportere 4-6⁵ passasjerer eller tilsvarende vekt med frakt⁶, og praktisk rekkevidde for de ulike modellene forventes å bli fra 40⁷ til 300⁸ km. Ettersom teknologien og markedet utvikles videre er det forventet lansering av større fartøy og fartøy med lengre rekkevidde. eVTOLs forventes å være langt mer kostnadseffektive i drift enn tradisjonelle helikopter, som skal muliggjøre ny luftmobilitet innenfor økonomisk rekkevidde for folk flest.

Til forskjell fra elektrifiserte fly vil vertikal opp- og nedstigning kreve langt mindre areal for landingsplasser («vertiports»), som sammen med lavere støybilde enn helikopter muliggjør landingsplasser nærmere der folk og frakt reiser fra og til.

Et titalls produsenter av passasjerfartøy forventer europeisk typesertifisering, som er et krav for kommersiell drift, i perioden 2024-2030, jf. figur 2. Selv om produsentenes forventninger til markedsintroduksjon ofte er noe optimistiske, forventer vi at det vil være flere eVTOL modeller tilgjengelig i markedet før 2030. De første kommersielle passasjerflygningene er forventet å starte under OL i Paris i 2024, som med høy internasjonal mediedekning kan bidra til å modne forbrukere og skape etterspørsel etter nye mobilitetstjenester.



Figur 2: Advanced Air Mobility - Reality Index. Oversikt over forventet lansering av eVTOL og elfly modeller, samt sannsynlighet for måloppnåelse (trafikklys). Kilde: SMG Consulting LLC, 2022

⁵ Informasjon fra produsentene Joby, Lilium, Eve, Archer, Beta Technologies og Vertical

⁶ Informasjon fra produsentene Pipistrel, Elroy Air og Beta Technologies

⁷ Informasjon fra produsenten Volocopter

⁸ Informasjon fra produsentene Beta Technologies og Pipistrel

Regelverk for sertifisering og drift av eVTOLs er under utvikling av EASA, og alle vesentlige rammevilkår for introduksjon av kommersielle flygninger er forventet å være på plass i Europa rundt 2025. Regelverket legger opp til samme sikkerhetsnivå for eVTOL luftfartøy som for tradisjonell kommersiell lufttransport. Regelverket vil fremover suppleres i forhold til mer avanserte operasjoner, som flygning i dårlig sikt (IFR), ubemannet flygning, større og tyngre fartøy, osv.

3.2.2 Nye luftfartøy vil skape ny luftmobilitet

Med de nye luftfartøyenes unike vertikale egenskaper starter et nytt kapittel i luftfarten som kan omtales som «ny luftmobilitet». Både frakt og passasjerer kan transporteres luftveien på strekninger som er udekket eller underdekket med lufttransport i dag. Ny luftmobilitet har potensiale til å spille en viktig rolle i utviklingen av fremtidens mobilitet i Norge, især knyttet til vanskelig tilgjengelige og tynt befolkede områder.

Ny luftmobilitet kan skape spesielt stor verdi i regioner hvor vær og topografiske forhold er en utfordring for bakke- og sjøbasert transport. Med ny luftmobilitet som del av fremtidens mobilitetssystem kan folk og frakt transporteres på en enda enklere, mer effektiv og bærekraftig måte.

Nye luftfartøy under utvikling varierer i størrelse fra mindre droner for frakt av små/lette gjenstander, til større luftfartøy som kan transportere 4-6 passasjerer eller tilsvarende vekt med frakt. Konsepter for større og tyngre luftfartøy er presentert, men er foreløpig ikke under utvikling.

Mindre luftfartøy (droner) kan frakte mindre og lettere gjenstander den første delen av reiseveien fra avsender, og den siste delen av reiseveien til mottaker. Fraktknutepunkt forventes etablert i tilknytning til eksisterende fraktknutepunkter. Droner kan også benyttes til frakt direkte fra avsender til mottaker. Dette er svært aktuelt for bedriftskunder med regulære leveranser. Flere store norske samfunnsaktører demonstrerer nå bruk av droner til transport av mindre gjenstander (blodprøver, melkeprøver, vannprøver, etc.) For droner eksisterer allerede velprøvd teknologi, og utviklingen går i retning av mer avanserte operasjoner (f.eks. over bebygde områder), automatisering, høyere volum av flygninger og knytning mot eksisterende verdikjeder.

For større luftfartøy (eVTOLs) foreligger en viktig oppgave i å skape meningsfull og verdiskapende ny mobilitet for samfunnet, forbrukere og næringsliv. Flere norske operatører har inngått innkjøpsavtaler for noen titalls eVTOLs. Operatørene vurderer ulike mobilitetstjenester, for eksempel:

- Regional transport mellom lufthavner med for kort avstand for tradisjonelle flytjenester
- Tilbringertjeneste til flyplass fra byer, tettsteder, næringsparker, industrisentre, o.l.
- Transport direkte mellom byer, regionalsentre, tettsteder, næringsparker o.l.
- Transport av frakt og mannskap til offshore lokasjoner
- Luftambulans og ekspreslevering av medisinsk utstyr
- Transport av større mengder frakt mellom fraktknutepunkter

Avinor planlegger videre arbeid for å få bedre kunnskap og forståelse av muligheter og etterspørseffektene ved innføring av ny luftmobilitet.

Produksjonen av eVTOLs vil være begrenset de første årene etter typesertifisering. Operatører med planer om oppstart i Norge må konkurrere med andre land om de første leveransene. På nasjonale og internasjonale arenaer jobber Avinor med å vise til Norge som et attraktivt land for tidlig lansering av ny luftmobilitet:

- Høyt potensial for verdiskapning (spesielt regional og offshore transport)
- Et ledende land på elektromobilitet (elbiler, elferger, med mer)
- Velfungerende statlige økonomiske insentiver for å stimulere til etterspørsel etter bærekraftige løsninger (f.eks. insentiver for elbiler)

- Ambisiøse mål for bærekraft i luftfarten
- Avinors store kjernenettverk av lufthavner med flysikring i samme organisasjon forenkler utvikling av nye operative konsepter

Landingsplasser for ny luftmobilitet er beskrevet nærmere i kapittel 5.3. *Avinors anbefaling for tilrettelegging for ny luftmobilitet (eVTOLs)*. Det er bred enighet i luftfarten om at planlegging av landingsplasser for ny luftmobilitet må starte nå for å muliggjøre ny luftmobilitet og integrere den i det øvrige mobilitetsnettverket (Pard, 2022).

Avinor samarbeider med operatørene og andre nøkkelaktører for å utforske ny luftmobilitet, og bidrar blant annet med operasjonelle vurderinger og estimering av markedsgrunnlag. I samarbeid med operatørene planlegger Avinor å utvikle kapasitet til å håndtere de nye luftfartøyene i luftrommet og på eksisterende flyplasser, samt muligheter for nye landingsplasser.

4. Avinors kartlegging av alternative energibærere

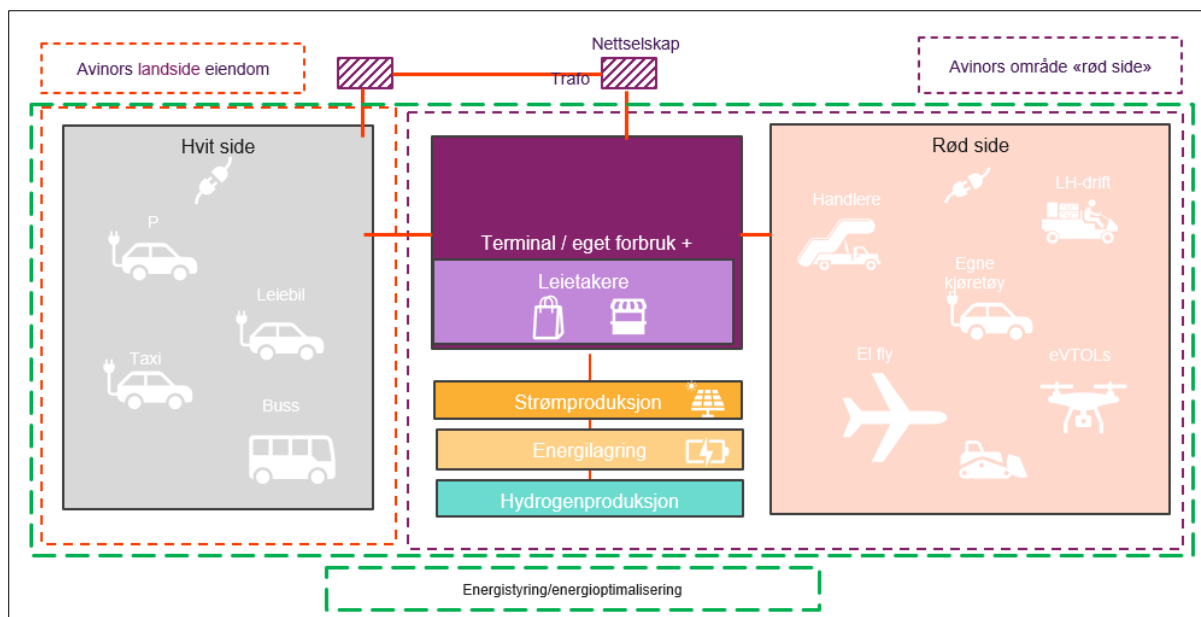
Omstilling til lavutslippssamfunnet vil påvirke infrastrukturen på lufthavnene. Null- og lavutslipps luftfartøy og ny luftmobilitet vil ha behov for infrastruktur for lading og fylling av nye energibærere. En rekke bakkekjøretøy og maskiner vil også trenge nye energibærere for erstatning for dagens fossile løsninger. Som redegjort for i kap. 2 peker det seg ut ulike teknologispør for luftfartøy. Vi vil sannsynligvis se løsninger med ulike energibærere (batteri og hydrogen) og fremdriftsmetoder (elektriske motorer og forbrenningsmotorer). Lading kan foregå direkte fra strømmettet, eller via stasjonære batterier (Battery Energy Storage Systems – BASS). Hydrogen kan leveres og lagres i komprimert og flytende form.

Avinors oppgave er å eie, drifte og utvikle lufthavnene på en slik måte at de dekker behovet til brukerne, og derigjennom å tilrettelegge for infrastruktur som bidrar til omstilling til bærekraftige løsninger. Avinors arbeid med tilrettelegging av lufthavnene for nye energibærere gjøres ut ifra tre hovedmålsetninger:

- Bidra til reduserte klimagassutslipp
- Sikre lavest mulig kostnad for tilførsel av energi
- Sikre god forsyningsikkerhet til og inne på lufthavnen

Som utgangspunkt for kartlegging av alternative energibærere har Avinor identifisert ulike forbrugssegmenter på lufthavnen samt energitilførsel til lufthavnen, jf. figur 3. I hvit side inngår i all hovedsak tilbringertransport og leiebil, mens luftfartøy og utstyr for drift av lufthavnen inngår i rød side.

For å håndtere økt elektrisitetsforbruk på lufthavnene vurderer også Avinor etablering av egenproduksjon av sol og energilagring (batterier). På lengre sikt kan det også være riktig å vurdere bruk av hydrogen for utvalgte applikasjoner knyttet til lufthavndriften.



Figur 3: Forbrugssegmenter for energi på lufthavnen.

Dette oppdraget er rettet mot behov for tilrettelegging for null- og lavutslippsteknologi. Selv om Avinor også har pågående aktiviteter knyttet til å legge til rette for tilgang til SAF, vil vi her sette søkelys på kartleggingene Avinor har gjennomført av tilgang til elektrisitet/kraft og hydrogen.

4.1 Elektrisitet

Avinor har foretatt en analyse av behovet for elektrisitet fremover i tid for å dekke behovet for lading av de ulike forbrugssegmenter:

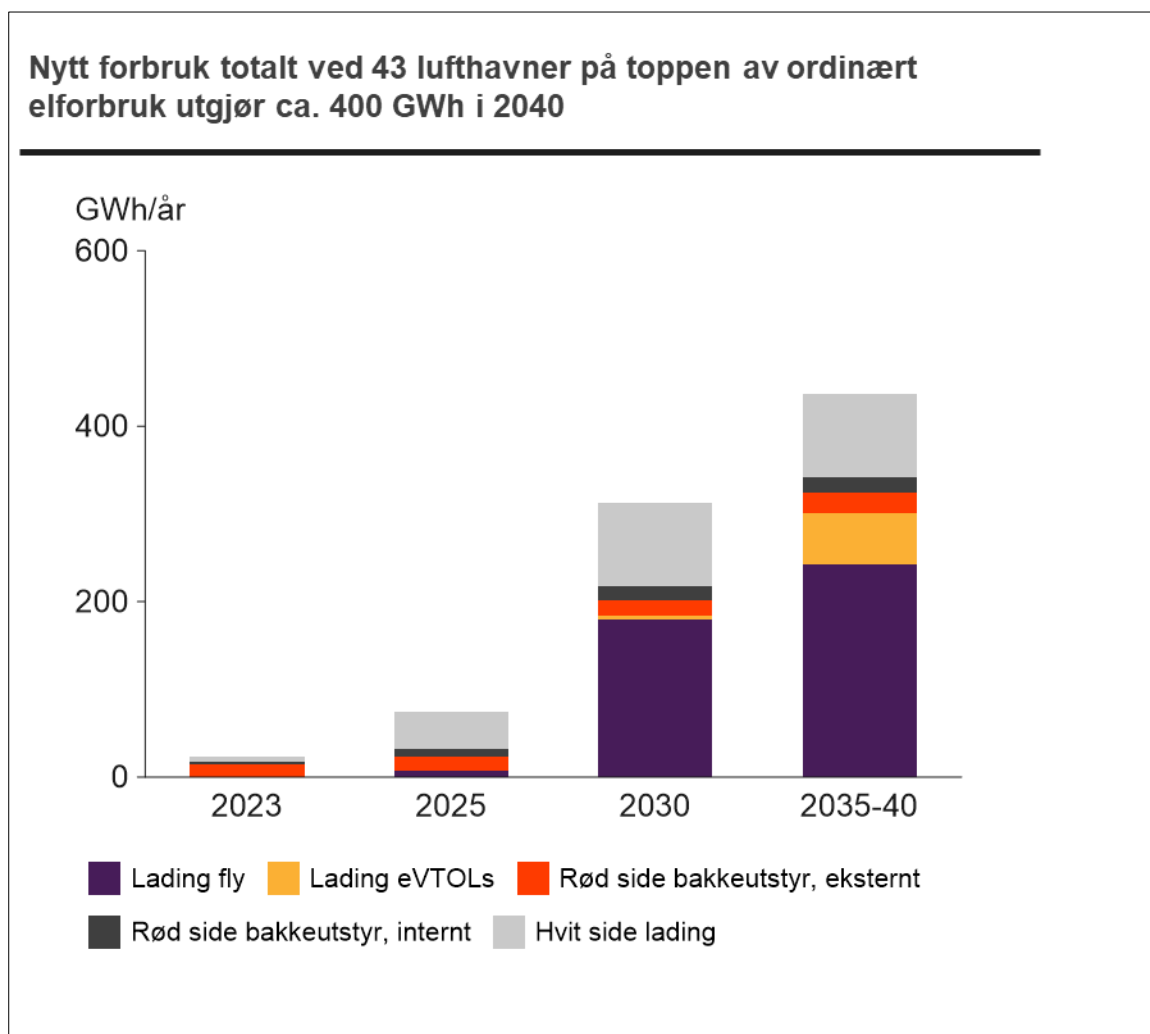
- Null- og lavutslippsfly
- eVTOLs
- Bakkeutstyr på lufthavnene (f.eks. brøytebiler, sope- og blåsemaskiner, deicingmaskiner, pushback-traktorer med mer)
- Kjøretøy som benyttes for å bringe reisende til lufthavnene (busser, taxi, leiebil, personbiler med mer.)

En stor omlegging fra fossilt drivstoff vil bety behov for en betydelig utbygging og forsterkning av el-infrastrukturen på lufthavnene. Dette innebærer blant annet:

- Økt kapasitet på tilknytningen til lufthavnene fra strømmettet
- Intern kabling og fremføring av strøm til de ulike bruksområdene
- Etablering av et betydelig antall ladepunkter for å dekke kjøretøy og utstyr
- Etablering av kraftige ladeløsninger spesielt for fly og eVTOLs som har behov for ladeløsninger med høy effekt. Disse ladeløsningene er avanserte og krever effekt på opptil 2 MW pr fly som skal lades og mulig enda høyere gitt teknologisk utvikling.

Avinor har utarbeidet forbrugsprognoser for perioden 2022 til 2040 for alle de ulike segmentene som har behov for elektrisitet til utstyr som erstatning for fossile drivlinjer. Analysene for fremtidig energibruk er usikre da innfasingen av elfly og eVTOLs er vanskelig å anslå, både med hensyn til tidspunkt for innfasing og volum. Flyoperatørene arbeider for å anskaffe de første elektriske flyene rundt 2026 og starte de første kommersielle flyvningene på et fåtall ruter i 2027 (Widerøe Zero, 2021). De første flyene som blir tatt i bruk forventes å være relativt små.

Med en moderat innfasing av fly og eVTOLs vil det samlede strømforbruket på Avinors 43 lufthavner øke fra ca. 250 GWh i 2022 til ca. 650 GWh i 2035. Disse anslagene er total økning av elforbruket på lufthavnene til luftfartøy, bakkeutstyr og kjøretøy som bringer passasjerer til og fra lufthavnene, hvor null- og lavutslippsfly er forventet å stå for det største behovet. I tillegg benyttes fjernvarme på et utvalg av lufthavnene hvor dette er tilgjengelig. Figur 4 viser økningen av elforbruk fordelt på forbrukssegment.



Figur 4: Beregning av kraftbehov fordelt på forbrukssegmenter på lufthavnene frem mot 2040.

Lading av kjøretøy både inne på selve operasjonsområdet på lufthavnen og på tilbringerområdet vil kunne kreve økt samtidig forbruk og vesentlig høyere effektuttak enn i dag. I tillegg vil elektrifiserte fly og eVTOLs kreve kraftig lading med høyt effektuttak. For å kunne levere strøm til det fremtidige forbruket vil det være behov for økt tilknytning fra strømmettet til lufthavnene og en betydelig utbygging av strøminfrastruktur inne på selve lufthavnene.

Avinor kartla i 2020 tilgjengelig kapasitet i strømmettet rundt alle lufthavnene. Tilgjengelig kapasitet og kostnader for økt tilknytning varierer betydelig fra lufthavn til lufthavn. Kartleggingen gikk ut på å kontakte de ulike nettselskapene ved alle lufthavnene og forespørre om kostnader for nettilknytning med en effekt på 2-30 MW avhengig av størrelsen på lufthavnen. Disse estimatene er kun grove anslag fra nettselskapene, og er ikke bindende. Kostnaden referer til nettkostnad frem til trafo på lufthavn. I 2020 var estimatet for nødvendig nettilknytning estimert til 270 mill. kr for samtlige forbrukssegmenter.

Avinor er i gang med ny kartlegging for å etablere et oppdatert bilde av investeringskostnader for nye tilknytninger til strømmettet. Kartleggingen fra 2020 viste at for noen lufthavner fantes det tilgjengelig kapasitet i strømmettet uten at det var nødvendig med høye investeringskostnader. På andre lufthavner er det lite tilgjengelig kapasitet og det kan medføre betydelige investeringskostnader i form av anleggsbidrag. Den store elektrifiseringsgraden i Norge de siste årene kan ha endret dette bildet, som det også er nærmere gjort rede for i kap. 6, og det er derfor behov for en ny kartlegging i samarbeid med de lokale nettselskapene. Dette arbeidet er planlagt ferdigstilt første halvår 2023.

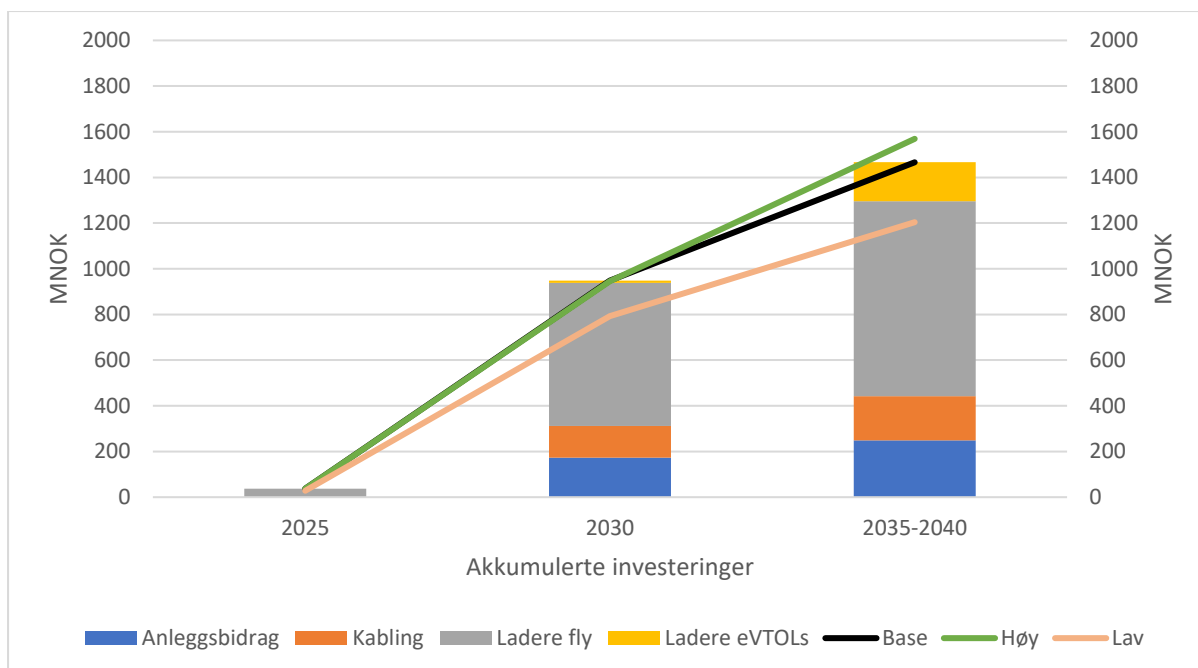
Utover nettilknytning er det behov for etablering av ladeløsninger, både for fly og eVTOLs samt til kjøretøy og utstyr på rød side. Utviklingen av elektrifiserte fly er i en for tidlig fase til at man kan gjennomføre detaljerte vurderinger av hva slags ladeinfrastruktur som må etableres på lufthavnene, men en kan se for seg to hovedtilnærminger for lading av fly:

- Lading direkte fra det lokale strømmettet
- Lading via stasjonære batterier på lufthavnene (Battery Energy Storage Systems – BASS)

Det er også noen elflyprodusenter som har utviklet konsepter med utskiftbare batterier, hvor batteriene byttes i stedet for å lades før flyene skal forlate lufthavnen. Dette en løsning som er tatt i bruk i biler og planlegges tatt i bruk i maritim sektor, med det er uvisst om dette vil bli aktuelt for luftfarten.

Avinors nye kartlegging av tilgjengelig strømkapasitet vil gi indikasjoner på kostnader, fordeler og ulemper ved å lade direkte fra strømmettet. Lading via stasjonære batterier på lufthavnene vil kunne bidra til å redusere effektbehov og kostnaden ved nettilknytning, men må sees opp imot investeringskostnad for stasjonære batterier. Eventuelt vil byttbare batterier kunne ha samme fordel som stasjonære batterier. Det bemerkes at levetiden på batterier i fly på grunn av hyppige ladesykluser vil være kort, ofte mindre enn ett år, men batterier med utgått levetid vil likevel ha god kapasitet til å benyttes i stasjonære batterier. Den høye omløpshastigheten på batterier vil også kunne medføre at luftfartøyene får større rekkevidde (og ladebehov) i takt med teknologiutviklingen på batterier.

Med utgangspunkt i beregningene av energibehov frem mot 2040 er det anslått investeringsbehov for tilrettelegging på lufthavnene for nye luftfartøy. Samlet investeringsbehov for nettilknytning og ladeinfrastruktur for nye luftfartøy anslås til mellom 1,2 og 1,6 mrd. kr, med stegvise investeringer med utgangspunkt i forutsetninger om innfasingstakt, jf. figur 4. Det understrekes at den underliggende usikkerheten er betydelig, både med hensyn til innfasing, teknologi og kostnader for tilrettelegging, særlig kostnaden for ladeinfrastruktur. Kostnadene for ladeinfrastruktur for fly og eVTOLs og konsepter for energiforsyning synes å utgjøre en vesentlig kostnadskomponent ved tilrettelegging for null- og lavutslipps luftfartøy, jf. figur 5. Utviklingen av null- og lavutslipps luftfartøy er i en for tidlig fase for å gjøre konkrete vurderinger av investeringsbehovet knyttet til ladeinfrastruktur, men det anses som et område hvor det er potensial for både teknologi- og markedsutvikling.







































Figur 5: Beregninger av investeringsbehov for tilrettelegging for nye luftfartøy. Millioner norske kroner.

4.2 Hydrogen

Hydrogen peker seg ut som en stadig mer aktuell energibærer for luftfarten og fly- og flymotorprodusenter arbeider med ulike hydrogenbaserte konsepter for ulike segmenter av markedet. Denne utviklingen vil utløse behov for tiltak og infrastruktur på lufthavnen.

Avinor fikk i 2022 gjennomført en kartlegging av mulige overordnede distribusjonsløsninger av hydrogen-baserte drivstoff, både til lufthavnene og internt på lufthavnsområdet (DNV, 2022). Hydrogen kan enten produseres lokalt på/ved lufthavnene eller transporteres til lufthavnene fra sentrale produksjonsanlegg. Transport og lagring av hydrogen er kostbart, slik at hydrogenproduksjon generelt bør foregå «så nært som mulig» forbrukspunktet. Hvor det vil lønne seg å produsere avhenger også blant annet av etterspørsel og forbruksmønster, arealtilgang på lufthavnen, nettilgang på lufthavnen og avstand til hydrogenproduksjon. I en modningsfase der man er usikker på etterspørselen, kan hydrogen anskaffes fra eksterne produksjonsanlegg. På lengre sikt, dersom etterspørselen øker, vil det være aktuelt å vurdere lokal hydrogenproduksjon på lufthavnen eller i nærheten. Tabell 2 viser aktuelle distribusjonsløsninger for Avinors største lufthavner med utgangspunkt i lokalisering og nærhet til pågående hydrogenprosjekter.

Tabell 2: Mulige distribusjonsløsninger for hydrogen ved Avinors største lufthavner (DNV, 2022)

Airport (category)		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
		Local H2 production	H2 pipeline transport	H2 Truck transport	H2 Ship transport
A	Oslo, Gardemoen				
B	Bergen, Flesland				
	Stavanger, Sola				
	Trondheim, Værnes				
C	Bodø				
	Tromsø, Langnes				
	Kristiansand, Kjevik				
	Alesund, Vigra				
	Harstad-Narvik, Evenes				

Ved bruk hydrogen som energibærer i luftfarten, vil det også være nødvendig for Avinor å legge til rette for lagrings- og fyllinfrastruktur for hydrogen inne på lufthavnsområdet på samme måte som det gjøres for konvensjonelt flydrivstoff i dag. Hydrogen kan enten lagres i gassform i trykksatte tanker (350-700 bar), i flytende form i kryogeniske kjøletanker (-253 C), eller som for eksempel ammoniakk. Alle disse alternativene krever betydelig større lagringsplass (infrastruktur og sikkerhetssoner) enn for konvensjonelt drivstoff. Tilgang til egnet areal for eventuell bruk av hydrogen er foreløpig ikke kartlagt på de enkelte lufthavner. I tillegg til lagring, må det etableres distribusjonsinfrastruktur til flyene. Mulige alternativer her kan være tankbiler, nettverk av rørledninger eller dedikerte fyllestasjoner. Hvert av disse alternativene vil kreve nye sikkerhetsrutiner, regelverk og sertifiseringer, samt investeringer i infrastruktur og spesialutstyr.

Lagring, fylling og eventuell produksjon av hydrogen inne på lufthavnsområdet vil kreve økt strømforbruk og vesentlig høyere effektuttak enn i dag. Kartleggingen anslår at en utskifting av 50 prosent av det fossile drivstofforbruket (av ca. 70-90 millioner liter Jet-A1 flydrivstoff/år) ved de største lufthavnene med hydrogen vil kreve ca. 3,5 tonn hydrogen/dag. Avhengig av elektrolyseteknologi og antall fullasttimer per døgn, vil dette kreve ca. 10 MW elektrolysekapasitet ved de største lufthavnene. I tillegg, uavhengig av hvor og hvordan hydrogenet produseres (blått eller grønt hydrogen), vil lagring og tanking av hydrogen også medføre økt energi- og effektuttak ved lufthavnene. Hydrogenet må være trykksatt (350-750 bar) for at fylling skal kunne gjennomføres hurtig nok (sikre etterspurt turn around-tid). Storskala lagring av hydrogen ved så høyt trykk har et signifikant energiforbruk. På grunn av den store usikkerheten rundt hydrogen i luftfarten, er ikke hydrogenproduksjon og -distribusjonsløsninger inkludert i forbruksprognosene for strøm. I Miljødirektoratets kartlegging av kraftbehov i transportsektoren frem mot 2050 anslås imidlertid kraftbehovet for produksjon av hydrogen for hele transportsektoren til 7 TWh i et scenario med fortsatt trafikkvekst (Miljødirektoratet, 2022).

5. Hvordan og når lufthavnene bør tilpasses og tilrettelegges for luftfartøy basert på lav- og nullutslippsteknologi

Det pågår en omfattende teknologisk utvikling i luftfarten som skaper behov for tilrettelegging på lufthavnene. Det er imidlertid betydelig usikkerhet knyttet til hvilke konkrete løsninger som kommer og når de ulike endringene inntreffer. Det fordrer en fleksibel tilnærming som bygger opp under markedets behov og samtidig reduserer risikoen for feilinvesteringer. Vi vil her presentere overordnede samfunnsøkonomiske vurderinger av tilrettelegging for lavutslippsfly før vi gjør rede for Avinors tilnærming/anbefaling.

5.1 Samfunnsøkonomiske vurderinger ved tilrettelegging for lavutslippsfly

I oppdraget fra SD er Avinor bedt om å vurdere om eventuelle tiltak knyttet til å legge til rette for null- og lavutslippsfly forventes å kunne være samfunnsøkonomisk lønnsomme, og om disse vil kunne utløse krav om KVV/KS1 iht. statens prosjektmodell.

Møreforskning AS har bistått Avinor med samfunnsøkonomiske vurderinger av å tilrettelegge for lavutslippsfly (Braaten m fl, 2022)⁹. De samfunnsøkonomiske virkningene av tiltak på lufthavnen gir i hovedsak utslag på flysiden eksempelvis gjennom reduserte utslipp, og Møreforskning viser til at det vil være krevende å gjøre samfunnsøkonomiske vurderinger av tiltak på lufthavnen som i all hovedsak retter seg mot flysiden, uten å ta med denne. Møreforskning har derfor søkt å inkludere flysiden i vurderingene. Fokus i vurderingene har derfor vært å forsøke å tallfeste virkninger av overgang til ny teknologi når det gjelder energibruk og utslipp samt å beregne infrastrukturkostnader.

Den teknologiske utviklingen og hvilke null- og lavutslippsfly som blir faset inn i det norske markedet i NTP-perioden 2025-2036 er usikker. De samfunnsøkonomiske vurderingene tar utgangspunkt i at hybridelektriske fly fases inn da dette vurderes som det mest realistiske alternativet på kort sikt, selv om også dette er forbundet med usikkerhet. Av hensyn til tidsrammen for utredningsoppdraget tar analysen utgangspunkt i fire eksisterende ruter, med eksisterende kapasitetsutnyttelse; Førde-Bergen, Leknes-Bodø, Røst-Bodø og Svolvær-Bodø, og vurderingene overføres deretter til hele FOT-nettet. Det presiseres at valget av ruter har bakgrunn i at de er rimelig representative med hensyn til distanser og passasjergrunnlag, ikke fordi Avinor legger opp til at disse rutene vil bli elektrifisert først. Nye ruteopplegg og etterspørselseffekter ved innfasing av mindre små elektrifiserte fly og ny luftmobilitet har ikke vært del av Møreforskings analyse.

Flydriftskostnader beregnes for følgende scenarier:

- Basis, med dagens Dash 8-100.
- Scenario 1: 30 seters hybridelektriske fly med dagens billettpriser.
- Scenario 2: 30 seters hybridelektriske fly med 20% nedgang i billettpriser. Dette gir noe høyere etterspørsel og følgelig en viss økning i flydriftskostnader.

Scenario 2 er vurdert for å synliggjøre virkningene av en sterkere statlig satsing på klimavennlig luftfart i distriktene. Møreforskning viser til at det er reist en problemstilling rund levetid for dagens flåte i kortbanenettet. De Havillands ESP PLUS hevder å kunne forlenge levetiden på dagens Dash 8-100/200 med en dobling av levetiden fra 80 000 til 160 000 timer, noe som ifølge produsenten kan

⁹ Se vedlegg 2.

tilsvare opp mot 30 driftsår ekstra (De Havilland, 2022). Møreforskning vurderer drift med dagens Dash 8-100 som et realistisk referansealternativ, selv om det vil kunne bli kostnadskrevenende. Det er imidlertid ikke gjort vurderinger av hvor mange fly som vil ha gjennomgått livsforlengende tiltak som er tilstrekkelig til at de vil ha en levetid ut over 2045, tilsvarende analyseperioden.

Møreforskning påpeker at analysen og beregningsresultatene bør betraktes som eksempler på økonomiske virkninger som kan oppstå, basert på tilgjengelig informasjon i dag. Det er understreket at den underliggende usikkerheten knyttet til teknologi og kostnadsbilde er stor.

Tilrettelegging for lavutslippsfly vil også kunne ha andre prissatte- og ikke prissatte virkninger. Møreforskning vurderer at de reisendes tidsbruk, støy og hensyn til naturmiljø er de mest relevante realøkonomiske tilleggseffektene, men disse virkningene er ikke inkludert i analysen. Det vurderes at forskjellene i tidskostnader og øvrig endring konsumentoverskudd hos passasjerene er så små størrelser at de ikke er tatt med. Støy inkluderes heller ikke, fordi støyeksposeringen anses som relativt liten. Av hensyn til stor usikkerhet knyttet til de samlede effektene på naturmiljø i produksjons- og driftsfasen er heller ikke disse tatt med. Reduserte klimagassutslipp er prissatt i henhold til karbonprisbanen fra Finansdepartementet for analyser i 2022.

Møreforskning viser ellers til Transportøkonomisk institutts (TØI) analyse av samfunnsmessige konsekvenser ved fremskyndet innfasing av elfly i Norge (Wangness m fl, 2021) for andre mulige effekter som ikke er prissatt. TØI konkluderer med at en satsing på en demonstrasjonscase med elfly mellom Stavanger og Bergen på 2020-tallet kan forventes å bidra til en forsert introduksjon av elfly i norsk luftfart og ha større netto samfunnsnytte enn ikke å satse. Møreforskning er av den oppfatning at TØIs vurderinger også kan være representative for hybridelektriske fly, hvor særlig tidligfase uttesting og iverksetting kan gi den potensielt største gevinsten blant virkningene som trekkes frem av TØI. Mulig tidligere innfasing vil sannsynligvis være den viktigste «førsteordenseffekten», og som vil danne en premiss for eksempel for nettverkseffekter og null- og lavutslippsflyenes rolle i distriktpolitikken.

I det følgende vil vi gjøre nærmere rede for de anslåtte utslippsreduksjonene og samfunnsøkonomiske vurderinger av utvalgte prissatte effekter ved tilrettelegging for lavutslippsfly på FOT-nettet.

5.1.1 Reduksjon av utslipp

Klimagassutslipp fra alt jetdrivstoff til sivile formål innenriks og utenriks solgt på norske lufthavner i 2019 tilsvarte om lag 5,5 % av Norges samlede utslipp, i størrelsesorden 2,8 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Utenriks luftfart utgjorde 1,7 millioner tonn. Innenriks sivil luftfart utgjorde i overkant av 1,1 millioner tonn, hvorav FOT-rutene utgjorde rundt 51,2 tusen tonn. FOT-rutene stod dermed for rundt 0,1 prosent av de totale norske utslippene.

Innføring av hybridelektrisk fly på FOT-rutene vil redusere utslippene betydelig for dette segmentet. I scenario 1 reduseres utslippene med 90 % til 5 100 tonn, mens utslippene i scenario 2 reduseres med 87 % til 6 500 tonn. Møreforskning viser til at virkningene av klimagassutslipp kan være noe underestimerte da analysen blant annet ikke tar hensyn til at andelen fornybar kraft kan øke i analyseperioden.

Selv om utslippene fra FOT-rutene i seg selv er små, vil innfasing av null- og lavutslippsfly på FOT-rutene kunne spille en viktig rolle for tidligmarkedet samt være en forutsetning for å sikre tilgjengelighet på kortbanenettet. Ved å legge forholdene til rette for null- og lavutslippsfly vil man i tillegg til å kutte utslipp kunne redusere risikoen for manglende tilbud på dagens FOT-ruter ved utfasing av dagens flåte. En slik risiko er ikke behandlet i Møreforskings analyse. Det er imidlertid en

premiss for analysen at dagens flytype skal kunne benyttes gjennom analyseperioden etter å ha gjennomgått oppgraderinger som i dag finnes tilgjengelig.

5.1.2 Anslåtte virkninger for FOT-nettet

Møreforskings overordnede vurderinger av tilrettelegging for lavutslippsfly peker på at tiltaket på FOT-nettet ikke fremstår samfunnsøkonomisk lønnsomt på relativt kort sikt da lønnsomheten påvirkes av flydriftskostnadene på rutene som ble vurdert, økt produksjon med mindre fly enn i referansealternativet er dyrere å operer per sete, samt investeringsbehov og statlig engasjement. Analysen antyder et behov for et betydelig statlig engasjement for innfasing av batterielektriske fly, både knyttet til ladeinfrastruktur på lufthavnene, nettilknytning, og til kjøp av flyrutetjenester på FOT-nettet. Den underliggende usikkerheten er imidlertid betydelig, og beregningsresultatene fra analysen bør derfor betraktes som eksempler på økonomiske virkninger som kan oppstå.

Av hensyn til rammen for oppdraget har Møreforskning forutsatt eksisterende ruteopplegg, med gjeldende kapasitetsutnyttelse. Møreforskning viser til at det kan ligge et potensial for bedret tilpasning av null- og lavutslippsfly, blant annet ved å se på rutestruktur. Avinor planlegger videre arbeid for å få bedre kunnskap og forståelse av etterspørselseffektene ved innfasingen av mindre null- og lavutslippsfly og eVTOLs.

Konklusjonen er at en omlegging til el-hybrider ikke framstår som samfunnsøkonomisk lønnsom på relativt kort sikt, med et anslått samfunnsøkonomisk underskudd på mellom 2,3 og 2,5 mrd. kr. Usikkerhetene i anslaget er betydelig, og den er kanskje størst når det gjelder flydriftskostnader samt det økte konsumentoverskuddet ved billettprisreduksjon som er beregnet for scenario 2. Vi understreker at anslagene er usikre, med basis i drøftinger ellers i notatet.

Vi har ikke gjort noe forsøk på å anslå de omstillingskostnader som erfaringsmessig kommer ved overgang til ny teknologi.

Møreforskning anslår, alt annet likt, at verdien av reduserte klimagassutslipp må øke med en faktor 3 til 4 for å bli marginal lønnsom. Perspektivene fram mot 2100 tilsier at utslippskostnadene vil kunne få en slik økning. Et nytt forskningsarbeid (Wangness og Rosendal, 2022) har beregnet at en slik økning vil kunne komme tidligere, allerede fram mot 2050. Det understrekes at alt annet neppe vil være likt. Eksempelvis vil passasjergrunnlaget kunne bli påvirket av en slik økning, med mulige reduserte flydriftskostnader som en effekt. Hvordan en slik framtidig likevekt vil kunne bli, ligger utenfor rammen av Møreforskings analyse.

Tabell 3 viser de anslåtte virkningene for FOT-rutenettet. Vi vil her omtale noen av hovedvirkningene fra analysen:

- Trafikantnytte
 - Netto endring i konsumentoverskudd kommer kun i scenario 2 på grunn av reduserte billettpriser og trafikkøkning.
- Klimagassutslipp
 - Hybridelektriske fly gir reduserte utslipp. Virkningen av klimagassutslipp kan imidlertid være noe underestimert da analysen ikke tar hensyn til at andelen fornybar kraft kan øke i analyseperioden.

- Utslippseffekten reduseres i scenario 2 da ruteproduksjonen øker på grunn av trafikkvekst og at elektrisitetsproduksjonen forutsettes delvis drevet med fossilt brensel.
- Infrastrukturinvesteringer lufthavn
 - Det er nødvendig med betydelige investeringer for ladeinfrastruktur på lufthavnene. Som det fremgår av kap. 4.1 er den underliggende usikkerheten betydelig, både med hensyn til innfasing, teknologi og kostnader for tilrettelegging, særlig kostnaden for ladeinfrastruktur.
 - Kostnadene for ladeinfrastruktur er forutsatt dekket inn gjennom offentlige budsjetter. Dersom denne kostnaden skulle vært dekket inn gjennom luftfartsavgifter måtte virkningene av økte avgifter blitt tatt inn i billettprisene.
- Flydriftskostnader
 - Lønnsomheten påvirkes av flydriftskostnadene, og i analysen bidrar mindre fly til en vesentlig økning i kostnadene som følge av behov for økt antall fly og at ruteproduksjon med mindre fly er dyrere å operere per sete. Samtidig antas lavere driftskostnader for elektriske motorer enn for turbinmotorer.
- Skattekostnad
 - Det vil være behov for å øke det statlige engasjementet ved innfasing av hybridelektriske fly på FOT-nettet. Dersom luftfarten helt eller delvis skal dekke kostnadene selv, må skattekostnadene reduseres proporsjonalt, men økte billettprisers innvirkning på etterspørselen må da beregnes.

Tabell 3: Anslåtte virkninger for FOT-nettet. Scenario 1 og 2 sett i forhold til referansealternativet.

Samfunnsøkonomiske virkninger, diskonterte til 2030, i mill. 2022-kr.	Scenario 1	Scenario 2
Trafikantnytte		
Endret konsumentoverskudd for passasjerene ved reduserte billettpriser		1703 ⁶
Klimagassutslipp (nytteeffekt)	718	697
Investeringskostnader		
Anleggsbidrag e-verk	-185	-185
Ladeinfrastruktur lufthavner	-972	-972
Flydriftskostnader	-1 634	-2 872
Restverdi		
Restverdi anleggsbidrag e-verk	103	103
Restverdi el-hybrid fly	175	192
Skattekostnader		
Skattekostnad, investeringer lufthavner	-231	-231
Skattekostnad på økt FOT-kjøp	-327 ⁷	-863 ⁸
SUM beregnede samfunnsøkonomiske effekter	-2 353	-2 478

På bakgrunn av usikkerheten knyttet til fremtidig teknologisk utvikling tilrår Avinor stegvise investeringer i takt med markedets behov. Dette vil gi rom for en fleksibel tilnærming og bidra til å redusere risikoen for feilinvesteringer, samtidig som det er behov for tiltak på kort sikt for å bygge opp under det norske markedet som testområde og første marked for innføring av null- og lavutslipps luftfartøy. Avinors tilnærming og anbefalinger for tilrettelegging for null- og lavutslippsfly og ny luftmobilitet med eVTOLs gjøres nærmere rede for i kap. 5.2 og 5.3.

5.2 Avinors anbefaling for tilrettelegging på lufthavnene for null- og lavutslipps luftfartøy

Det er behov for tilrettelegging på lufthavnene for fremtidige null- og lavutslipps luftfartøy samt for reduksjon av klimagassutslippene fra lufthavndriften. Etablering av ny infrastruktur, både med hensyn på kapasitet i nettet og fysisk infrastruktur på lufthavnene vil kreve betydelige investeringer. Det må tilrettelegges for løsninger og infrastruktur som bygger på internasjonale standarder som sikrer lik tilgang for alle operatører. Som eier, driver og utvikler av lufthavner er Avinor den naturlige tilrettelegger for å sikre standardiserte løsninger og like rammebetingelser for alle operatører i takt med markedets behov.

Som det fremgår av tidslinjen for innfasing i kap. 3 peker det seg ut tre teknologispor for fly som krever tilrettelegging på lufthavnene, men det er usikkert når teknologien fases, i hvilke segmenter, og i hvilket omfang. Incentiver for å stimulere til null- og lavutslippsløsninger i luftfarten vil kunne akselerere omstillingen. Helelektriske, mindre fly og hybride batterielektriske konsepter peker seg imidlertid ut på kort sikt, og Avinor vil legge til rette for adekvat infrastruktur på selskapets lufthavner ved behov. Samtidig arbeides det med hydrogenkonsepter, og Avinor vil også legge til

rette for denne utviklingen i takt med markedets behov. Videre må det lages planer for utrulling av infrastruktur for større volum på lengre sikt, i tråd med de konseptene som anses som aktuelle for det norske markedet. Avinor foreslår derfor en tilnærming med tiltak for tilrettelegging for null- og lavutslipps luftfartøy og ny luftmobilitet, i et kort og lengre tidsperspektiv, hvor tiltakene på kort sikt er viktige for å bygge opp under det norske markedet som testområde og første marked for innføring av null- og lavutslipps luftfartøy.

5.2.1 Tilrettelegging på kort sikt (frem mot 2030)

Avinor vurderer at det er behov følgende tiltak på kort sikt for å legge til rette for adekvat infrastruktur på lufthavnene:

- Nettilknytning
 - Fremføring av strøm på utvalgte lufthavner for de første flygningene med mindre batterielektriske og hybridelektriske luftfartøy
 - Fremføring av strøm på øvrige lufthavner som grunnlag for tidlig fase utrulling av null- og lavutslipps luftfartøy
- Pilotering av teknologi og konsepter for energiforsyning
- Tilrettelegging av anlegg, tekniske løsninger og operative konsepter
- Videre kartlegging av hydrogen som energibehov i luftfarten og infrastrukturbehov samt tilrettelegge om det skulle oppstå behov på kort sikt

De foreslått tiltakene på kort sikt samt kostnadsanslag blir gjort nærmere rede for i det følgende.

Nettilknytning

Det kan være relativt lange ledetider for å få på plass tilstrekkelig infrastruktur til og på lufthavnene. Utvidelse av nettinfrastruktur til lufthavnene blir gjort av nettselskapene, og avhengig av fremtidig effektbehov og tilgjengelig kapasitet i eksisterende nett kan det være behov for nettførsterkninger. Avinor vil nå revidere kartleggingen fra 2020 for å danne seg et oppdatert bilde av investeringskostnader for nye tilknytninger til strømmettet. Bestilling av ny nettkapasitet vil gjøres på utvalgte lufthavner for å sikre at det er på plass til innføringen av elektriske fly og eVTOLs.

Fremføring av strøm til lufthavnene må sees i sammenheng med fremføring av strøm for å redusere klimagassutslippene fra lufthavndriften og tilbringertrafikken. Behovet for lading av maskiner og utstyr på lufthavnene er allerede til stede. En del av maskinparken har konvertert fra fossilt drivstoff til el. Fremover vil nesten alle kjøretøy og maskiner brukt på lufthavnene gå vekk fra fossil energi. Tidspunktet for utskifting bestemmes delvis av tilgang på når maskiner på batteridrift blir levert fra utstysleverandørene, og handlerselskapenes utskiftningstakt. Avinor selv og handlerselskapene arbeider for at maskinparken skal være fossilfri innen 2030. For det meste av maskinparken på flyplassen er dette realistisk å få til, men for noen typer maskiner kan det være uforholdsmessige dyrt, teknisk komplisert og driftsmessig vanskelig å oppnå. Dette gjelder for eksempel de tunge snøryddingsmaskinene som krever mye energi og har et driftsmønster hvor sammenhengende driftstid er lang. Her kan løsninger med hydrogen eller biodrivstoff være løsningen. Avinor benytter allerede i dag betydelige volum bærekraftig biodiesel.

Kompleksiteten i utbyggingen og avhengighet av blant annet nettselskapene, tilsier at arbeidet med tilretteleggingen bør starte raskt. I tillegg er det allerede et behov for utbygging av ladeløsninger for

lufthavns spesifikke kjøretøy og maskiner. Videre er intern kabling og bygging av ladeløsninger inne på lufthavnene komplisert og Avinor har startet planleggingen av dette arbeidet.

Avinor er avhengig av å få informasjon fra flyselskapene om hvilke lufthavner som er aktuelle for introduksjon av elektriske fly og eVTOLs, og når det vil være aktuelt. Et fortsatt godt samarbeid med flyoperatørene er avgjørende for å sikre utbygging på de riktige lufthavner i forhold til deres planer.

Pilotering av teknologi og konsepter for energiforsyning

Det anslås at kostnadene for ladeinfrastruktur for fly og eVTOLs og konsepter for energiforsyning vil utgjøre en vesentlig kostnadskomponent ved tilrettelegging for null- og lavutslipps luftfartøy. Avinor vurderer at det vil være behov for pilotering av teknologi og konsepter for energiforsyning i tidlig fase for å utvikle robuste og mer standardiserte løsninger på sikt. Kunnskap og innsikt generert gjennom pilotering vil også være et viktig grunnlag for regelverksutvikling. Luftfartsmyndighetene bør derfor involveres i denne tidligfasen. Innovasjon og markedsutvikling vil kunne bidra til mer kostnadseffektive løsninger og bidra til å redusere tiltakskostnaden ved tilrettelegging for null- og lavutslippsteknologi.

Et initiativ for pilotering av teknologi og konsepter for energiforsyning vil kunne bidra til å styrke Norges posisjon som et tidligmarked, og kan bidra til tidligere innfasing og muligens et større utvalg av null- og lavutslipps luftfartøy tilgjengelig for det norske markedet.

Avinors nettverk av lufthavner, med god kapasitet og til tider svært krevende værforhold på deler av nettverket, gjør det norske markedet godt egnet for uttesting av operasjons- og ladekonsepter for batterielektriske og hybridelektriske luftfartøy. Videre har norsk maritim leverandørindustri opparbeidet seg verdensledende kompetanse innenfor batteri-hybride systemer, energistyring og hydrogen, og det er viktig å hente erfaring herfra.

Dette initiativet vil være i tråd med målsettingen i Hurdalsplattformen om å opprettholde et godt, desentralisert nett med kortbaneflyplasser og sørge for at disse brukes i arbeidet med elektrifisering av luftfarten, blant annet gjennom et program for teknologiutvikling.

Pilotering av teknologi vil også forde finansiering. En kan se for seg en rekke ulike modeller. I «Forslag til program for introduksjon av elektrifiserte fly i kommersiell luftfart» (Luftfartstilsynet og Avinor, 2020) anbefaler Luftfartstilsynet og Avinor flere tiltak og virkemidler. Utviklingsløpet deles inn i tre faser (teknologiutviklingsfasen, risikoavlastningsfasen og driftsfasen). I teknologiutviklingsfasen anbefales innovativt internasjonalt samarbeid, herunder at det etableres en internasjonal arena/et senter i Norge for utvikling, testing og implementering av null- og lavutslippsteknologi for luftfart. Videre at en finner frem til en modell for finansiering av senteret der både brukere, leverandørindustri, virkemiddelaktører og myndigheter bidrar. Det påpekes også at det er nødvendig med tett nasjonal samordning innen luftfart, fordi den markedsmessige og sikkerhetsmessige reguleringen av sektoren er kompleks og nasjonal innsats må avstemmes og forankres internasjonalt. Omstillingen stiller store krav til både offentlige og private aktører.

I «Virkemidler for fremtidig utvikling av grønn luftfart i Norge» (Grünfeld m fl, 2022) anbefaler Menon Economics en rekke virkemidler for å fremme grønn luftfart i årene som kommer. For piloteringsfasen anbefales det blant annet at det etableres en testinfrastruktur som lar flyprodusentene i tett samarbeid med regulerende myndigheter teste ulike ladeløsninger med tilhørende sikkerhetsrutiner, både for faste og utskiftbare batterier, løsninger for fueling av hydrogen mv. Menon Economics anbefaler at det etableres et norsk katapultsenter for testing innen grønn luftfart. Ordningen er allerede et etablert virkemiddel i regi av Siva med økonomiske rammer

som gjør det attraktivt å etablere/utvide ny testteknologi og løsninger. Som katapultsenter er det ifølge Menon i dag mulig å hente inn finansiering for investeringer i fasiliteter på 50 mill. kroner samlet over en 5 års-periode. Sannsynligvis er det mulig å utvide investeringsstøtten ytterligere.

Videre kartlegging av hydrogen som energibærer i luftfarten med tilhørende infrastrukturbehov

Hydrogen er aktuelt som energibærer i luftfarten, både i flytende og komprimert form. Hydrogen kan benyttes i brenselcelle eller ved direkte forbrenning. Dersom hydrogen brukes i brenselceller for å produsere elektrisitet til en elektrisk flymotor, faller det innenfor definisjonen vi har brukt på et «elektrifisert fly». Airbus, ZeroAvia og Universal Hydrogen har de siste årene vært særlig toneangivende blant aktørene som satser på hydrogen. Det amerikanske oppstartselskapet ZeroAvia utvikler et fly drevet på brenselceller, og Airbus har som målsetting i sitt prosjekt ZEROe å ha et nullutslippsfly på markedet innen 2035, i et konsept der flytende hydrogen skal være energibærer. Rolls-Royce og EasyJet gjennomførte høsten 2022 en test av forbrenning i en av Rolls-Royce sine jetmotorer (Rolls-Royce, 2022). Seks av de 20 prosjektene som fikk finansiering gjennom EUs Clean Sky forskningsprogram var relatert til bruk av hydrogen i luftfart (Clean Aviation, 2022). I likhet med batterielektriske og hybridelektriske fly gjenstår fortsatt mye utvikling før hydrogen kan bli brukt som energibærer i luftfarten. Det er for tidlig å anslå hva kostnadene til hydrogeninfrastruktur eventuelt vil være. Norsk luftfart følger utviklingen av hydrogen som energibærer i luftfarten svært tett. På kort sikt planlegger Avinor å gjennomføre ytterligere studier og prosjekter om hydrogeninfrastruktur, slik at selskapet på lengre sikt kan tilrettelegge for hydrogenforsyning på lufthavnene. I studiene vil en også vurdere nærmere sammenfallende behov i andre deler av transportsektoren og industrien, slik at de samfunnsøkonomiske kostnadene blir så lave som mulig ved eventuell bruk av hydrogen i luftfarten.

5.2.2 Tiltak i et lengre tidsperspektiv (fra 2030)

Som det er gjort rede for i kap. 3.2 1 om aktuelle null- og lavutslipps luftfartøy og tidslinjer arbeides det med ulike konsepter, i ulike segmenter av markedet. Det er derfor usikkert hvilke teknologier som blir foretrukket i det norske markedet og hvilken innvirkning dette vil ha på Avinors infrastruktur. Avinor vil i nær dialog med flyprodusentene, flyselskapene og luftfartsmyndighetene følge utviklingen i markedet tett og legge til rette for adekvat infrastruktur i tråd med markedets behov.

5.2.3 Investeringsbehov

De foreslåtte tiltakene på kort sikt er samlet anslått til 520 mill. kr. Kostnad for tilrettelegging (anleggsbidrag/kabling/ladebokser) for de første flygningene med mindre batterielektriske fly ved et utvalg av lufthavnene anslås til 160 mill. kr. Anleggsbidrag for fremføring av strøm til og kabling internt på lufthavnsområdet for økt strømforbruk fra lading av fly og eVTOLs anslås til 360 mill. kr (alle lufthavner). Kostnader for pilotering av teknologi og konsepter for energiforsyninger, samt for tilrettelegging av anlegg og tekniske løsninger, kommer i tillegg. Kostnader til hydrogeninfrastruktur er heller ikke inkludert.

Tabell 4: Estimert investeringsbehov ved tiltak på kort sikt.

Tiltak	Investeringsbehov (mill. kr)
Tilrettelegging for mindre batterielektriske fly (utvalgte lufthavner)	160
Fremføring av strøm til øvrige lufthavner	360
Sum	520

Investeringene knyttet til omstilling av luftfarten, både på kort og lang sikt, må finansieres. En av hovedutfordringene for luftfart i årene framover er å kutte klimagassutslipp og bærekraftig omstilling. Avinors vanskelige økonomiske situasjon som følge av inntektsbortfallet under koronapandemien, endring i taxfree-ordningen, underregulerte luftfartsavgifter, myndighetspålegg, samhandling med Forsvaret med mer gjør at Avinor samlet sett trolig ikke har handlingsrom til å gjennomføre nødvendige investeringer på lufthavnene for å legge til rette for null- og lavutslipps luftfartøy. Helhetlig virkemiddelbruk i luftfarten, på samme måte som en har gjort i andre deler av transportsektoren, er derfor nødvendig for å dekke inn omstillingskostnadene i luftfarten, både på kort og lengre sikt. Avinor ønsker å bidra med kompetanse og innsikt i luftfartens økosystem for å få etablert langsiktige, forpliktende og kraftfulle virkemiddelpakker for å bidra til at luftfarten når klimamålsettingene.

Det presiseres at kostnadene ovenfor er estimerer og Avinor vil fortløpende revidere beslutningsunderlaget for å ha oppdatert oversikt av investeringskostnader for blant annet nye tilknytninger til strømmettet. Det vises også til kap. 7.1 i prioriteringsoppdraget i NTP hvor det skal gjøres en analyse av forventet teknologiutvikling. Resultatene av denne analysen vil som nevnt kunne få konsekvenser for estimatene. Videre er det viktig at Avinors rammebetingelser gir rom for å bidra til bærekraftig omstilling av luftfarten.

5.3. Avinors anbefaling for tilrettelegging for ny luftmobilitet (eVTOLs)

Nye luftfartøy og nye operasjonsmønstre vil kreve et komplett nasjonalt økosystem som støtter den nye luftmobiliteten i tillegg til å understøtte tradisjonell luftfart, både på bakken og i luftrommet. Avinor har aktiv dialog med luftfartsbransjen og arbeider for å stimulere aktørene til å tilpasse sine tjenester til nye luftfartøy og ny luftmobilitet.

For passasjertransport vil det i lang tid fremover være krav til pilot om bord i fartøyet. For å redusere driftskostnadene er likevel målsetningen til de fleste produsentene at fartøyene på sikt skal bli autonome. Med erfaring fra utviklingstakten for autonome kjøretøy på vei, samt svært høye krav til sikkerhet i luftfarten, forventes autonome luftfartøy for passasjertransport tidligst rundt 2035-2040. For fraktformål kan ubemannede luftfartøy bli aktuelt langt tidligere. Avinor har utarbeidet planer for implementering av nye digitale systemer for styring av luftrommet for ubemannede fartøy (UTM). Slike systemer vil, på en sikker og effektiv måte, kunne tilrettelegge for den forventede store etterspørselen på tilgang til luftrom. Et velfungerende UTM er kritisk for å støtte utrulling av ubemannede luftfartøy med høyere trafikk tetthet i luftrommet, samt for integrasjon av ubemannet og bemannet lufttrafikk i samme luftrom.

Avinors nettverk av flyplasser og flysikringsvirksomhet/luftromsstyring vil utgjøre svært sentrale deler av dette økosystemet. Vi vil her gjøre nærmere rede for Avinors anbefalinger for tilrettelegging på lufthavnene for nye luftfartøy og ny luftmobilitet.

5.3.1 Avinors flyplasser som knutepunkt for nye luftfartøy og ny luftmobilitet

Da den nye luftmobiliteten i tidlig fase vil bidra med begrensede inntekter, vil det være avgjørende å utnytte den allerede eksisterende infrastrukturen på lufthavnene på en mest mulig effektiv måte. Volumet av operasjoner og passasjerer/frakt er forventet å øke gradvis, og flyplassenes kapasitet bør derfor også økes stegvis. En stegvis tilnærming gjør det mulig å ta inn mer modne tekniske løsninger løpende, samt tilpasse operative konsepter basert på erfaringer.

Konturene av de endringer som kreves for å ta imot nye luftfartøy og utvikle ny luftmobilitet med utgangspunkt i eksisterende flyplasser, begynner å ta form. Noen viktige elementer vil være:

- Ny innflyvning og landingsplass for luftfartøy med vertikale egenskaper (eVTOLs), for å avlaste rullebanekapasiteten på flyplasser med lite ledig kapasitet
- Utstyr og metoder for å forflytte nye luftfartøy på bakken (for luftfartøy som ikke har hjul eller ikke kan bevege seg på bakken for egen maskin)
- Nye oppstillingsplasser for små luftfartøy, sentralt plassert for å knyttes til eksisterende passasjer- og fraktstrømmer
- Brann- og redningstjeneste med kompetanse på og utstyr for batteribrann (gjelder også fixed wing)
- Strømforsyning, ladeinfrastruktur og batterihåndtering (gjelder også fixed wing)

Hovedutfordringen for infrastruktur på flyplassene og tilgang til luftrom vil være det store antallet flybevegelser. Foreløpige markedsvurderinger, basert på operatørenes foreløpige planer, viser at eVTOLs alene kan bidra med over 100 000 nye flybevegelser per år fra 2031. Dette representerer en økning i flybevegelser på over 15% i forhold til i dag. Selv med dette høye antallet flybevegelser vil antall passasjerer bare øke med 1-2%, grunnet få seter per luftfartøy.

Avinor jobber med å ta frem markedsgrunnlag, operative konsepter og konkretisere nødvendige endringer i samarbeid med operatører og andre nøkkelaktører, med målsetning om skalerbare standarder som kan ruller ut stegvis.

5.3.2 Nye landingsplasser for ny luftmobilitet

For å realisere verdien av den nye luftmobiliteten må det etableres nye, små landingsplasser i nærheten av der reisen starter eller slutter, eksempelvis i byer, tettsteder, industrisentre og næringsparker. Nye landingsplasser, ofte kalt «vertiports», kan etableres både på bakkenivå, på forhøyede konstruksjoner, og på taket av bygninger, parkeringshus, etc.

Landingsplasser til offentlig bruk innebærer at hvem som helst har rett til å lande. For landingsplasser i byer, tettsteder, næringsparker og andre lokasjoner med betydelig offentlig verdi og interesse, vil offentlige landingsplasser være mest aktuelt.

Ved private landingsplasser er det eieren av landingsplassen som avgjør hvem som skal få benytte den. For landingsplasser i industrisentre, omlastingsområder for frakt, ved offshore baser, sykehus og andre lokasjoner hvor én eller et fåtall aktører opererer, kan private landingsplasser være aktuelt.

Både offentlige og private landingsplasser krever konsesjon fra Luftfartstilsynet. De må også tilfredstille krav til sikker utforming og drift. Etablering av nye landingsplasser vil kreve betydelig arbeid og involvering av en rekke aktører som grunneier, lokale og regionale myndigheter, operatører av luftfartøy (flyselskaper), operatør av landingsplassen, operatør av luftrommet, Luftfartstilsynet, naboer og lokalbefolkning, lokalt næringsliv, annen kollektivtransport, investorer, m.fl.

Avinors samfunnsoppdrag forutsetter at selskapet utvikler infrastruktur og tjenester for å møte utviklingen i luftfarten og tilrettelegging for ny luftmobilitet er en naturlig utvikling av dette ansvaret. Dette vil kreve at man ser nærmere på hvordan eksisterende lufthavnstruktur kan utnyttes best mulig. Videre vil denne type luftmobilitet trolig ha behov for egnet infrastruktur også utenfor Avinors lufthavner. Dette reiser en rekke problemstillinger knyttet til både bakkeinfrastruktur og luftromsstyring samt kreve konkurransemessige, bedriftsøkonomiske og samfunnsøkonomiske vurderinger.

6. Sammenfallende energibehov på tvers av transportformene

I rapporten *Vurderinger av trender, drivkrefter og perspektiver i transportsektoren* beskriver Menon (Handberg m fl, 2022) teknologiske utvikling for fossilfrie løsninger som en robust trend. I dette ligger at kjøretøy, fartøy, fly og tog skifter fra bruk av fossile til alternative energibærere, eller at den fossile energibruken blir mer effektiv. Usikkerheten ligger i stor grad i omstillingstakt og teknologiske retninger innenfor ulike transportformer- og segmenter.

Tilgang til fornybar energi er en forutsetning for at transportsektoren skal kutte utslipp samtidig som samfunnets behov for mobilitet skal dekkes. Miljødirektoratet anslår kraftbehovet til transportsektoren til 60 TWh i 2050 i et scenario med trafikkvekst, og 44 TWh i et scenario med nullvekst. Begge scenariene inkluderer kraft til produksjon av alternative drivstoff som avansert biodrivstoff, hydrogen, ammoniakk og syntetisk drivstoff.

På bakgrunn av økt kraftbehov i transportsektoren og i samfunnet ellers, i takt med en økende elektrifisering, utsiktene til nye næringer med stort kraftbehov og en fortsatt omlegging fra fossil energi til fornybar kraft, er det behov for å se utviklingen av transportsystemet i sammenheng med utvikling av energisystemet. Både Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Statnett trekker frem behov for å utvikle kapasiteten i takt med økende etterspørsel (NVE, 2022, Statnett, 2022).

Basert på tidligere kartlegginger og innspill fra transportvirksomhetene gjør vi her overordnede vurderinger av teknologisk utvikling og energibehov for hver av transportformene samt sammenfallende energibehov på tvers av transportformene.

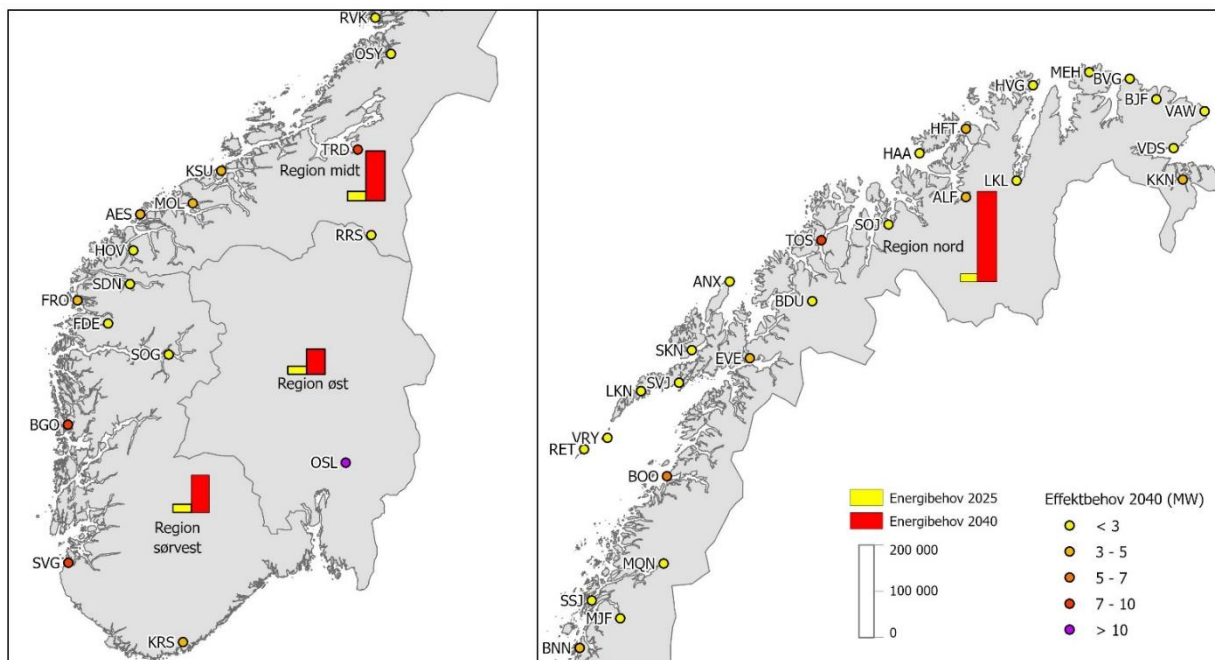
6.1 Luftfart

Avinor har kartlagt både behov for kraft og tilgang til hydrogen i nærheten av Avinors lufthavner. Med en moderat innfasing av fly og eVTOLs vil det samlede strømforbruket på Avinors 43 lufthavner øke fra ca. 250 GWh i 2022 til ca. 650 GWh i 2040. Disse anslagene er total økning av elforbruket på lufthavnene til luftfartøy, bakkeutstyr og kjøretøy som bringer passasjerer til og fra lufthavnene. I tillegg benyttes fjernvarme på et utvalg av lufthavnene hvor dette er tilgjengelig. Som det fremgår av kap. 4.1 er det kraftbehov til lading av luftfartøy som samlet sett står for den største veksten, men det er også vekst i andre forbrukssegmenter som følge av innførings av null- og lavutslippsløsninger i driften av lufthavnene. Dette er imidlertid tall for hele Avinors virksomhet og vi ser at hvor stor andel av kraftbehovet som er knyttet null- og lavutslipp luftfartøy er avhengig av størrelsen på lufthavnen og kraftbehovet knyttet til driften av denne.

Nytt kraftbehovet på lufthavnene på toppen av ordinært forbruk er anslått til ca. 400 GWh i 2040. Med utgangspunkt i regioninndeling i Statnetts nettutviklingsplan har vi identifisert endring i regionale kraftbehov frem mot 2040. Kraftbehovet øker mest i region nord og utgjør om lag halvparten av den samlede økingen. Dette forventes også betydelig økning i region midt og region

sørvest. Dette er regioner hvor det foreligger planer for utbygging som følge av et allerede stort behov og det er viktig at planene realiseres og nettkapasiteten økes i takt med det økende behovet.

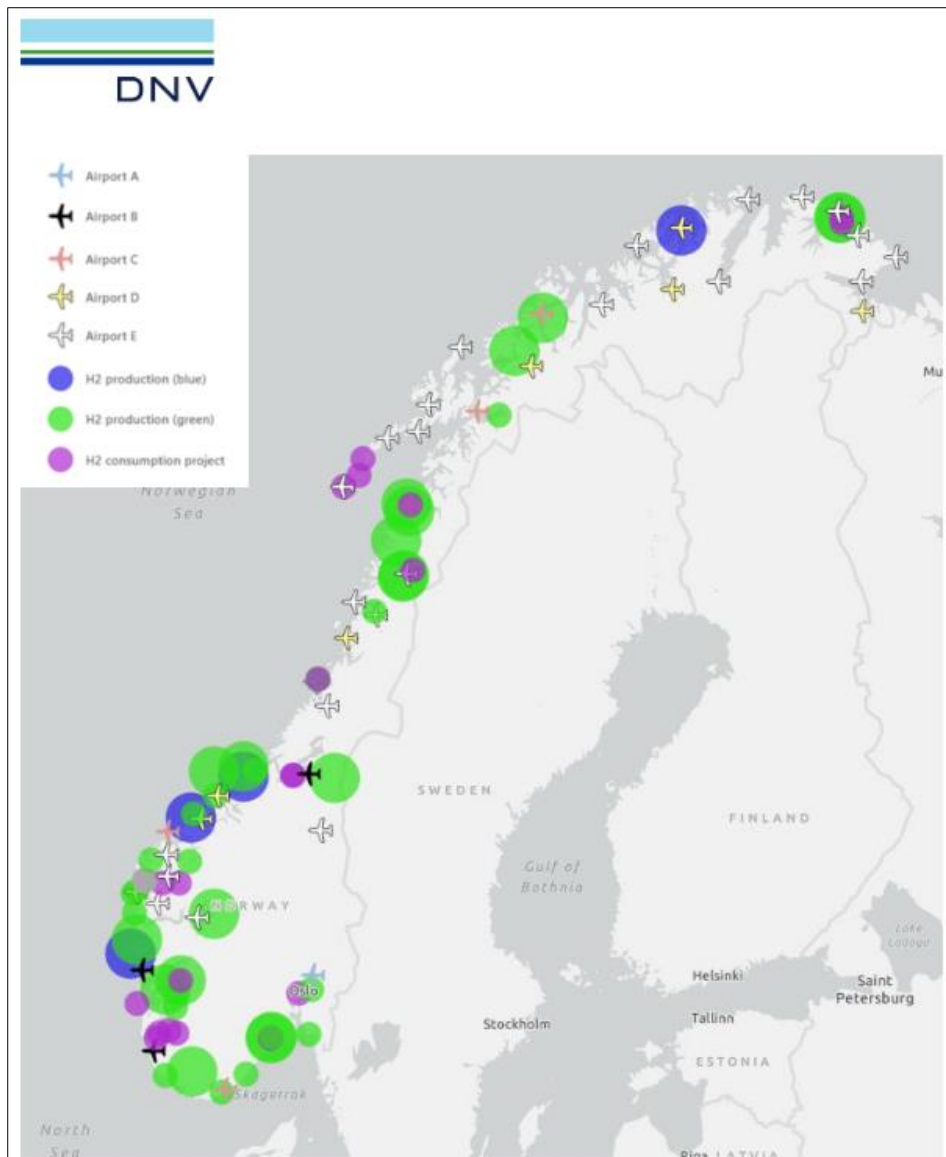
Som det kommer frem av figur 6 er effektbehovet størst for de største lufthavnene. Dette følger naturligvis av flytrafikken på lufthavnene, drift av lufthavn og grad av behov for samtidig lading.



Figur 6: Effekt- og kraftbehov på Avinors lufthavner frem mot 2040. Effektbehov per lufthavn. Kravbehov for regioner, med utgangspunkt i regioner i Statnetts nettutviklingsplan.

Hydrogen peker seg ut som en mer aktuell energibærer i luftfarten. Denne utviklingen vil utløse behov for tiltak og infrastruktur på lufthavnen. Avinor fikk i 2022 gjennomført en kartlegging av mulige overordnede distribusjonsløsninger av hydrogen-baserte drivstoff, både til lufthavnene og internt på lufthavnsområdet (DNV, 2022). I forbindelse med denne kartleggingen ble det utarbeidet en oversikt over lokalisering av pågående hydrogenprosjekter sett opp imot lokalisering av lufthavnene. Som det fremgår av figur 8 er det flere pågående hydrogenprosjekter i nærheten av Avinors lufthavner med potensial til å bli del av de nye verdikjedene for distribusjon av alternative drivstoff på lufthavnene.

Det er for tidlig å anslå luftfartens konkrete behov for hydrogen. Hydrogen er imidlertid ett av flere teknologispør som det arbeides med i luftfarten og det derfor viktig at det er hydrogen er tilgjengelige når fly med hydrogenteknologi fases inn i markedet. Det er betimelig å merke seg at Airbus, verdens største flyprodusent, bruker betydelige ressurser på dette sporet. Avinor er av den oppfatning at luftfartens behov for hydrogen må så langt som mulig sees i sammenheng med samlet etterspørsel i transportsektoren, dette som grunnlag for å identifisere et marked og grunnlag for etablering av produksjon i tråd med markedets behov.



Figur 8: Kartlegging av hydrogenprosjekter i nærheten av Avinors lufthavner.

6.2 Jernbane

Jernbanedirektoratet utreder gjennom KVVU GREEN muligheten for utslippsreduksjoner på jernbanen etter bestilling fra Samferdselsdepartementet. Utredningen vil omfatte både strekninger som ikke har elektrisk drift, og kjøretøy som bruker diesel. Figur 9 viser det norske jernbanenettet, med elektrifiserte (gult) og ikke-elektrifiserte jernbanestrekninger (rød).



Figur 9: Oversikt over det norske jernbanenet, med elektrifiserte (gult) og ikke-elektrifiserte jernbanestrekninger (rød).

De ikke-elektrifiserte banestrekningene (dieseldrift) er:

- Rørosbanen: Hamar-Elverum-Røros Støren
- Solørbanen: Elverum-Kongsvinger
- Raumbanen: Åndalsnes-Dombås
- Nordlandsbanen: Trondheim – Bodø (hvor Trondheim – Stjørdal elektrifiseres)
- Meråkerbanen: Er under elektrifisering

Ved økt ruteproduksjon på elektrifiserte strekninger vil energibehovet øke. I tillegg er det dieseldrift for alt av skinnegående arbeidsmaskiner innen drift og vedlikehold på både elektrifiserte og ikke-elektrifiserte banestrekninger.

SD har satt følgende krav til utredningen KVV GREEN:

- En vurdering av alternativer som reduserer utslipp fra jernbanen, samt de samfunnsøkonomiske kostnadene ved disse.
- En vurdering av driftsform (dagens løsning vurdert opp mot el, batteri, hybrid, hydrogen etc.) og tilknyttede behov for investeringer.
- En vurdering av behov for ombygging eller utskifting av eksisterende jernbanekjøretøy.
- Kartlegge behov for infrastrukturtiltak for energiforsyning
- En vurdering av fordeler og ulemper ved ulike teknologier skal belyses, herunder energieffektiviteten til ulike energibærere.
- En vurdering av rekkefølgen av tiltak basert på samfunnsøkonomisk kostnad per tonn CO₂.

Jernbanedirektoratets utredning er nå inne i en fase med mulighetsstudier og siling av konsepter. Direktoratet opplyser om at det som foreløpig tas med videre til en alternativanalyse er:

- Batteridrift med lading av batterier fra kontaktledning (KL-banestrømsforsyning). Som et eksempel kan det Nordlandsbanen settes opp 8 strekninger med KL a 30 km, og kjøre ca. 10 mil imellom ladestrekningene på batteri. Bimodale tog for denne typen drift kan kjøre på KL elektrifiserte strekninger uten batteribruk.

- Full utbygging av KL
- Hydrogenelektrisk (brenselceller og batteri)
- Biodiesel (HVO/E-fuel).
- Bimodale tog (KL/biodiesel)

Innen Europes Rail Joint Undertaking prosjektet Rail4EARTH 'Green and Sustainable European Railway' satses det på nullutslippsteknologi innen to områder som er batteridrift og hydrogendrift. Av hensyn til krav om interoperabilitet i Europa vil Norge måtte forholde seg til hva Europa gjør.

6.3 Kyst

Norge har en svært desentralisert havnestruktur. Gjennom analyse av posisjonsdata fra skipenes AIS-sendere, har Kystverket identifisert flere tusen anløpspunkt langs kysten av Norge, fordelt på offentlige trafikkhavner, offshorebaser, store og små industrikaier, fiskerihavner, ferjekaier, passasjerbåtkaier og havbruksanlegg. De aller flest lufthavnene er lokalisert kystnært og vil være innen rimelig avstand til en havn eller et anløpspunkt. Noen steder vil det være stor grad av sammenfall mellom større havner og lufthavner, som for Sola lufthavn og Risavika havn. Her er det da også etablert et demonstrasjonsprosjekt for smart energistyring og strømproduksjon¹⁰.

Per i dag er marine gassoljer og ulike tungoljer de dominerende drivstoffene om bord på skip i norske farvann. Batterielektrisk framdrift benyttes i stadig økende grad på ferjer og passasjerfartøy, og med økt energitetthet i batteriene blir denne framdriftsløsningen også aktuell for flere skipssegment med mindre skip med relativt korte seilaser. Dette medfører et betydelig behov for elektrisk kraft med høy effekt til lading av batterier om bord på fartøyene, ofte på nokså perifere kaier. Dette er en type energi og en fremdriftsløsning som vil være aktuell for både skipsfart og luftfart.

For andre skipssegment som lasteskip og offshore skip pekes det oftest på hydrogen og hydrogenbaserte drivstoff (karbonnøytral ammoniakk og metanol). Av disse er det særlig hydrogen som vil være et aktuelt drivstoff for både skipsfart og luftfart. Enova tildelte sommeren 2022 støtte til etablering av produksjonsanlegg for fornybart hydrogen til maritim sektor i Glomfjord, Rørvik, Hitra, Florø og Kristiansand.

6.4 Vei

Det forventes stor vekst i antall elektriske kjøretøy mot 2030. Ved inngangen til 2022 var elbilparken på rundt 470 000 lette el-kjøretøy (person- og varebiler), 55 el-langdistansbusser og cirka 100 el-lastebiler. Dersom vi når NTP-mål for innfasing av nullutslippskjøretøy, vil vi i 2030 ha nærmere 2 millioner lette el-kjøretøy, rundt 2 000 el-langdistansbusser og 23 000 el-lastebiler på veiene (Statens vegvesen og Miljødirektoratet 2022).

Hurtigladestasjoner for lette kjøretøy har blitt og forventes fortsatt å bli etablert av private aktører. Det er per i dag kun en hurtigladestasjon tilrettelagt for tunge kjøretøy i Oslo. Behovet for offentlig tilgjengelige hurtigladestasjoner for tyngre kjøretøy vil avhenge av innfasing av nullutslippstunge kjøretøy, andelen elkjøretøy, teknologiutvikling på elkjøretøy, batterier og ladeutstyr, hvilke logistikkoppgaver elkjøretøyene benyttes til, og tilgang til depotlading (hjemmelading) og destinasjonslading (lading underveis, men som ikke er offentlig tilgjengelig). Et foreløpig estimat er at 15-25 % av tungbilparkens energibehov vil dekkes gjennom offentlig tilgjengelig hurtigladeinfrastruktur, 5 % som nattlading og 10-20 % som pauselading. I Kunnskapsgrunnlag om hurtigladeinfrastruktur for veitransport (Miljødirektoratet og Statens vegvesen, 2022) er det anslått

¹⁰ Se ELnett21 for nærmere informasjon: <https://www.elnett21.no/nyheter/bli-kjent-med-elnett21>

behov for mellom 1 500 – 2 500 hurtiglادestasjoner for tunge kjøretøy langs riksveinettet i Norge i 2030.

For å legge til rette for langtransport mellom byene vurderes det i første omgang og etablere hurtiglادere på strekningene Oslo – Kristiansand – Stavanger, Oslo – Bergen, Oslo – Trondheim (rv.3) og Oslo Trondheim (E6), ved de store byene og om lag midtveis mellom byene. Flere ladestasjoner kan etableres, begrensingen på tempo vil være tilgang til areal og tilkobling til strømmettet (tilgjengelig effekt). For NTP-perioden 2025-2036 forberedes en utrulling av ladestasjoner for å dekke transportnæringens behov, samt ta hensyn til krav til avstander (hver 100 km) og effekter for TEN-T nettverket (AFIR). I dette inngår at ladestasjoner for lading i pause og over natt blir standard på døgnhvileplasser. I planleggingen tas det også hensyn til ev. andre alternative drivstoff iht. krav i Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR). Det vil være både små, mellomstore og store ladestasjoner.

På de aktuelle strekningene mellom de store byene planlegges det for ladepunkter og effekt per ladepunkt, etter behov, med effekt fra 2x350 kW og opp til store ladeparker med 10x1MW eller mer. På øvrige strekninger blir ladestasjoner standard på døgnhvileplasser (for pause- og nattlading). Frem mot 2040 vil antall ladepunkt på andre strekninger på riksveinettet økes til 500-1000 ladepunkter med effekt 350 kW/2 x 350 kW.

6.5 Vurdering av sammenfallende energibehov

Den overordnede kartleggingen viser at det vil være et sammenfallende energibehov i transportsektoren. Luftfart vil ha et behov for kraft og hydrogen langs hele kysten, med særlig stor vekst i etterspørsel etter kraft i Nord-Norge. På jernbane vurderes ulike null- og lavutslippsløsninger på ikke-elektrifiserte jernbanestrekninger. De aktuelle strekningene har endepunkt i nærheten av større lufthavner som Trondheim og Bodø, og dersom om hydrogen blir aktuell energibærer for disse strekningene kan det være grunnlag for å se tilgang til hydrogen i sammenheng med behovet til både luft- og skipsfart. Batteridrift eller kjøreledning på ikke-elektrifiserte jernbanestrekninger vil medføre ytterligere behov for kraft, særlig i Nord-Norge.

I skipsfarten peker det seg ut forskjellige null- og lavutslippsløsninger i ulike markedssegmenter. For mindre skip med relativt korte seilaser, som ferje og hurtigbåt, vil det være behov for tilgang til kraft med høy effekt for lading av batterier, ofte i mer spredtbygde strøk langs kysten. Hydrogen og hydrogenbaserte drivstoff (karbonnøytral ammoniakk og metanol) peker seg ut for skipssegmenter med større energibehov og/eller som seiler over større avstander, og det er særlig hydrogen som vil være et aktuelt drivstoff for både skipsfart og luftfart. Det vurderes at det noen steder vil det være stor grad av sammenfall mellom større havner og lufthavner, som for Sola lufthavn og Risavika havn. Kartlegging av pågående hydrogenprosjekter viser en rekke prosjekter i nærheten av både havner og Avinors lufthavner, hvor det kan være sammenfallende behov for hydrogen. Det er blant annet flere prosjekter for hydrogenproduksjon i nærheten Bodø samt at riksveiferjesambandet Bodø-Mosknes-Værøy-Røst vil trafikkeres av hydrogenferjer fra høsten 2025.

For å legge til rette for langtransport med tunge kjøretøy planlegges det en gradvis utbygging av ladeinfrastruktur langs riksveinettet. I første omgang mellom de store byene i Sør-Norge, og etter hvert i hele landet. Det planlegges for ladepunkter og effekt per ladepunkt, etter behov, med effekt fra 2x350 kW og opp til store ladeparker med 10x1MW eller mer. Fleksibiliteten for lokalisering av ladepunkter for tunge kjøretøy anses å være noe større enn den er for lufthavner og rutegående sjøtransport, innenfor handlingsrommet for krav til avstander og effekter langs veinettet. Handlingsrommet kan benyttes for å redusere etterspørsel i allerede belastede områder eller

realisere potensialet for synergier, særlig knyttet til ev. alternative drivstoff på vei i henhold til krav i AFIR.

Det er identifisert sammenfallende energibehov i transportsektoren. På bakgrunn av denne overordnede kartleggingen vurderer Avinor at større grad av deling av innsikt og planer for innfasing av null- og lavutslippsløsninger i transportsektoren kan gi energisektoren nyttige innspill om transportsektorens langsiktige kraftbehov, som grunnlag for den langsiktige utviklingen av strømnettet. Tilgang på kraft vil være en forutsetning for at vi når våre transportpolitiske mål. Videre har transportsektoren behov for tilgang til nye energibærere som krever etablering av produksjonskapasitet og distribusjonsløsninger. Større grad av felles kommunikasjon av behov til markedet, på tvers av transportvirksomhetene, kan bygge opp under etablering av produksjon og distribusjon av nye energibærere i områder med sammenfallende behov.

Det anbefales at det gjøres nærmere vurderinger rundt samfallende energibehov i det videre arbeidet med NTP 2025-2036, blant annet sett opp imot kap. 7.1 i prioriteringsoppdraget.

7. Vedlegg

Vedlegg 1: Referanser til figur 1

Utvalg elektrifiserte fly (fixed wing) per desember 2022. Offentlige tilgjengelige opplysninger innhentet fra produsentene. Kan/vil forekomme endringer

Prosjektnavn	Energibærer	Formål	Seter	Max rekkevidde	RWY	Test fra	Enter into service	Info innhentet des 2022
Pipistrel Alpha Electro	Batteri	Trening/rekreasjon	2	150 km		2016	2017	Alpha Electro – Pipistrel Aircraft (pipistrel-aircraft.com)
Pipistrel Velis Electro	Batteri	Trening/rekreasjon	2	150 km		2017	2019	Velis Electro – Pipistrel Aircraft (pipistrel-aircraft.com)
ΦNIX/Phoenix	Batteri	Trening/rekreasjon	2	200 km		2018	Na	U15E ΦNIX (pure-flight.eu)
Bye Aerospace E-flyer 2	Batteri	Trening/rekreasjon	2	400 km		2018	2023	eFlyer Innovation for the Next Generation (electricflyer.com)
Bye Aerospace E-flyer 4	Batteri	Trening/rekreasjon	4	480 km		NA	NA	eFlyer - Bye Aerospace
NASA x-57/Tecnam P2006T	Batteri	Demonstrator	4	NA		2022	NA	X-57 Maxwell (nasa.gov)
Elfly Group X10 Byfly	Batteri	GA/passasjer	8	200 km		2025	2030	Electric Seaplanes in Vestland - Elfly Group (elfly.no)
Tecnam P-VOLT	Batteri	GA/passasjer	8	NA		2024	2026	Tecnam & Rolls-Royce Showcase the Future of General Aviation at the Oshkosh Airshow - Tecnam Aircraft
Eviation Alice	Batteri	GA/passasjer	9	460 km	840 m	2022	2027	Aircraft – Eviation
VoltAero Cassio I	Hybrid	Demonstrator	4	1500 km		2019	NA	VoltAero's Cassio 1 testbed to surpass 10,000-km. distance flown
Ampaire Electric EEL	Hybrid	GA/passasjer/demo	4	740 km		2019	NA	Vehicles Hybrid-Electric Aircraft (ampaire.com)

Prosjektnavn	Energibærer	Formål	Seter	Max rekkevidde	RWY	Test fra	Enter into service	Info innhentet des 2022
VoltAero Cassio II	Hybrid	GA/passasjer	4-12	1500 km		2023	fra 2024	VoltAero is taking electric aircraft to an entirely new level
Ampaire Eco Caravan	Hybrid	GA/passasjer/demo	9	2000 km		2022	NA	Vehicles Hybrid-Electric Aircraft (ampaire.com)
Heart ES-30	Hybrid	Passasjer	30	400 km	1100 m	2026	2028	ES-30 Heart Aerospace
Aura Aero Era	Hybrid	Passasjer	19	1800 km	600 m	2024	2027	ERA - Aura Aero (aura-aero.com)
Embraer Energia HE19/HE30	Hybrid	Passasjer	19 og 30	900 km		NA	2030+	Embraer: news - Embraer - The shape of things to come, new sustainable aircraft concepts revealed
P&WC/DeHavilland - Dash 8	Hybrid	Passasjer/demo	NA	1100 km		2024	NA	News Release De Havilland
ZeroAvia	Hydrogen brenselcelle	Passasjer	9-19	550 km		2022	2025	First Practical Zero Emission Aviation Powertrain USA & UK ZeroAvia
Embraer Energia FC19/FC30	Hydrogen brenselcelle	Passasjer	19 og 30	370+ km		NA	2035	Embraer: news - Embraer - The shape of things to come, new sustainable aircraft concepts revealed
Universal Hydrogen ATR 72	Hydrogen brenselcelle	Passasjer	56	NA		2023	2025	Universal Hydrogen Fueling Carbon-Free Flight
Airbus	Hydrogen (LH2). FC og DC	Passasjer	100-200	1900-3700 km		NA	2035	ZEROe - Zero emission - Airbus

Merknad: Av plasshensyn inneholder tabellen bare et utvalg produsenter/prosjekter. Eksempler på utelatte: ATR EVO, H55, Wright Electric, Rolls-Royce, Cranfield, EcoPulse, Faradair, Deutsche Aircraft osv. Listen er lengre. Videre har produsenter som er nevnt i tabellen prosjekter som ikke er tatt med, f.eks. Airbus, Bye og Pipistrel

Vedlegg 2: Tilrettelegging for lavutslippsfly – en samfunnsøkonomisk vurdering

Referanser

- Braathen m fl. (2022). *Tilrettelegging for lavutslippsfly – en samfunnsøkonomisk vurdering* (Arbeidsnotat 22-03). Møreforskning.
- Clean Aviation, 2022. https://clean-aviation.eu/sites/default/files/2022-09/CleanAviation-daring-new-projects-List_en.pdf
- De Havilland. (2022, 4. April). Industry-First Extended Service Program PLUS Doubles the Service Life of the Robust De Havilland Canada Dash 8-100 Aircraft <https://dehavilland.com/en/news/posts/industry-first-extended-service-program-plus-doubles-the-service-life-of-de-havilland-canada-dash-8-100-aircraft>
- DNV. (2022). Hydrogen supply to Norwegian airports. https://avinor.no/globalassets/_konsern/miljlokal/miljorapporter/hydrogen-supply-to-norwegian-airports.pdf
- Doran, M. (2022, 31. oktober). Icelandair Plans To Fly Domestic Carbon Free By 2030. *Simple Flying*. <https://simpleflying.com/icelandair-fly-domestic-carbon-free-2030/>
- Grünfeld m fl. (2022). Virkemidler for fremtidig utvikling av grønn luftfart i Norge (Menon-publikasjon 14/2022). Menon Economics. <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2022-14-Nasjonale-virkemidler-for-en-gronn-luftfart.pdf>
- Handberg, m fl. (2022). Vurderinger av trender, drivkrefter og perspektiver i transportsektoren (Menon-publikasjon 82/2022). Menon Economics. <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2022-82-Analyse-av-drivkrefter-trender-og-perspektiver-i-transportsektoren.pdf>
- Harrington, T. (2022, 7. november). Air New Zealand looks to zero-emission flights by 2026 as Airbus sees hydrogen hub cluster potential. *Green Air*. <https://www.greenairnews.com/?p=3537>
- Legget, T. (2022, 22. november). Rolls-Royce tests a jet engine running on hydrogen. *BBC News*. <https://www-bbc-co-uk.cdn.ampproject.org/c/s/www.bbc.co.uk/news/business-63758937.amp>
- Luftfartstilsynet og Avinor. 2020. <https://luftfartstilsynet.no/globalassets/dokumenter/andre-dokumenter/forslag-til-program-for-introduksjon-av-elektrifiserte-fly-i-kommersiell-luftfart.pdf>
- Miljødirektoratet. (2022). Kraftbehov til transport: Nullutslippsscenarioer for 2050. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2022/november/kraftbehov-til-transport-nullutslippsscenarioer-for-2050/>
- Miljødirektoratet og Statens vegvesen. (2022). Kunnskapsgrunnlag om hurtigladeinfrastruktur for veitransport (M-2232). <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2022/mars/kunnskapsgrunnlag-om-hurtigladeinfrastruktur-for-veitransport/>
- NVE. (2022). Norsk og nordisk effektbalanse fram mot 2030 (NVE-rapport 20/2022). https://publikasjoner.nve.no/rapport/2022/rapport2022_20.pdf
- Pard, JB. (2022). Ready for launch. *Passenger Terminal World*. <https://www.ukimediaevents.com/publication/ad03b3bd/16>
- Polek, G. (2022, 19. oktober). Universal Hydrogen To Fly Hydrogen-powered Dash 8 by Year-end. *AIN online*. <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2022-10-19/universal-hydrogen-fly-hydrogen-powered-dash-8-year-end>
- Roland Berger. (2021). Green air travel reaches for new horizons. <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Environmentally-friendly-air-travel-continues-to-grow-and-grow.html>.

Rolls-Royce. (2022). Rolls-Royce and easyJet set new world first. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2022/28-11-2022-rr-and-easyjet-set-new-aviation-world-first-with-successful-hydrogen-engine-run.aspx>

SMG Consulting LLC. (2022). Advanced Air Mobility Reality Index. <https://aamrealityindex.com/aam-reality-index>

Statnett. (2022). Oppdatert investeringsplan 2022 (brev til NVE). <https://www.statnett.no/globalassets/foraktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/investeringsplaner/oppdatert-investeringsplan-2022.pdf>

Transport & Environment, 2022. Roadmap to climate neutral aviation in Europe. <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/03/TE-aviation-decarbonisation-roadmap-FINAL.pdf>.

Wangness m fl. (2022). Fremskyndet innfasing av elfly i Norge: mulige samfunnsmessige konsekvenser og virkemidler (TØI-rapport 1851/2021). Transportøkonomisk institutt.

Widerøe Zero, 2021. <https://wideroezero.com/news/2022/wz-eve/>.

TILRETTELEGGING FOR LAVUTSLIPPSFLY – EN SAMFUNNSØKONOMISK VURDERING

Noen anslag basert på dagens kunnskapsstatus

FORORD

Dette arbeidsnotatet ser på mulige konsekvenser av innfasing av lavutslippsfly i perioden frem mot 2035. Vi vurderer om tiltak knyttet til denne innfasingen kan være samfunnsøkonomisk lønnsomme. Tiltakene var i utgangspunktet knyttet til selve lufthavnene.

Analysen er overordnet, og den omfatter kun kortbanenettet. Vår tilnærming er å kunne vurdere tiltak som med rimelighet kan forventes å måtte være gjennomført innen 2035, altså innenfor kommende NTPs tidshorisont. Vi har søkt å inkludere flysiden i vurderingen, fordi de samfunnsøkonomiske virkningene av tiltak på lufthavnene i hovedsak manifesterer seg på flysiden gjennom eksempelvis reduserte klimagassutslipp. Det vil derfor være krevende å gjøre en samfunnsøkonomisk vurdering av tiltak på lufthavnene som i all hovedsak retter seg mot flysiden, uten å ta med denne.

Arbeidet er gjennomført i forbindelse med utredningsoppdraget for NTP 2025-2036 (SD ref. 21/2883), med Avinor som oppdragsgiver. Joachim Rønnevik har vært kontaktperson. En gruppe bestående av Joachim Rønnevik, Erik By, Lars Draagen og Olav Mosvold Larsen har gitt verdifulle innspill til arbeidet.

Bjørn G. Bergem har utført beregningene for flykostnader, inntekter, energibruk, utslipp og samlede virkninger. Tore Tomasgard har hatt ansvar for vurderinger og beregninger knyttet til ladeinfrastruktur. Svein Bråthen, Møreforsking AS/Høgskolen i Molde har vært prosjektleder, definert det metodiske grunnlaget for beregningene og skrevet mesteparten av notatet.

Innholdet er forfatternes ansvar.

Molde, 21 desember 2022

Forfatterne

INNHold

Forord.....	2
Innhold	3
Sammendrag	4
1 Innledning.....	8
2 Om flyteknologi.....	9
3 Metodisk tilnærming og avgrensninger	10
3.1 Om virkninger.....	10
3.2 Beregningsalternativer	11
3.3 Valg av flystørrelse	13
3.4 Nærmere om antall fly	14
3.5 Infrastruktur på lufthavnene.....	14
3.6 Geografisk avgrensning	14
3.7 Endret offentlig kjøp	15
3.8 Energibruks- og utslippsberegninger	15
4 Nærmere om beregninger	16
4.1 Diskontering og restverdier.....	16
4.2 Beregning av flykostnader.....	16
4.3 Beregning av endret konsumentoverskudd.....	19
4.4 Beregning av energibruk	20
4.5 Beregning av reduserte utslippskostnader	20
4.6 Beregning av infrastrukturkostnader	20
5 Sammenstilling av beregninger og konklusjon.....	23
5.1 Sammenstilling for de rutene som er vurdert.....	23
5.2 Anslag på samlede beregnede virkninger for FOT-nettet.....	25
5.3 Konklusjon	27
Referanser	29

SAMMENDRAG

Denne analysen inngår som grunnlag for vurderinger av mer klimavennlig luftfart i forbindelse med Nasjonal transportplan (NTP) 2025-2036, med utgangspunkt i tiltak tilknyttet lufthavnene. Analysen er overordnet, og den omfatter kun kortbanenettet. Denne avgrensingen er gjort fordi dette nettet har både kortere strekningslengder og et krav til flystørrrelse som gjør det aktuelt for betjening med lavutslippsfly på mellomlang sikt, innen ca. 10 år.

Det er betydelig usikkerhet knyttet til hva som kommer av null-/lavutslippsteknologi innen 2035. Det som synes mest modent for den flystørrrelsen som er aktuell for det norske kortbanenettet, er en full eller hybrid elektrifisering av luftfartøyer som vil være egnet for hele eller deler av kortbanenettet fra rundt 2030. Hybriddrift for å ivareta nødvendig rekkevidde inkludert sikkerhetsmargin synes egnet, slik at batteriene ikke blir for store og tunge. Vi bruker heretter betegnelsen el-hybrid om denne framdriftsformen, og vi legger denne teknologien til grunn for analysen.

Vi har forsøkt å tallfeste virkninger av overgang til ny teknologi når det gjelder energibruk, utslipp og infrastrukturkostnader. Flykostnader er også tallfestet. Den underliggende teknologiske usikkerheten er som nevnt vesentlig, og vi har lagt vekt på å belyse denne i beregningene.

Når det gjelder andre forhold, så har vi sett bort fra de reisendes tidsbruk, støy og hensyn til naturmiljø, som kanskje er de mest relevante realøkonomiske tilleggseffektene. Vi knytter noen korte kommentarer til disse virkningene, som vi anser som relativt små, men vi har ikke gjennomført beregninger av dem. Enkelte andre ikke-prissatte virkninger med realøkonomisk relevans er omtalt, med henvisning til Wangsness m fl (2021).

Vi har beregnet virkningene av to scenarier for bruk av el-hybrider, sammenlignet med dagens betjening av kortbanenettet. Dagens flypark kan videreføres gjennom analyseperioden (15 år) ved hjelp av vesentlige oppgraderinger. Framfor å variere flyteknologien i de ulike scenariene med el-hybrider, så har vi variert det statlige engasjementet i sektoren. Dette vil kunne påvirke markedssiden, som er bestemmende for nyttesiden ved bruk av el-hybrider. Vi har vurdert to scenarier for et statlig engasjement, sammenlignet med dagens driftsopplegg:

1. Kjøp av flyruter med det samme billettprisnivået som i dag.
2. Kjøp av flyruter med et 20 % redusert billettprisnivå.

Det første scenariet vil påvirke kostnadssiden. Det andre vil i tillegg gi en markedseffekt, med en tilhørende større kostnadseffekt. Begge scenariene vil innebære en endring av det statlige engasjementet, både ovenfor flyplasser og flyselskapene. Vi tror likevel at en slik tenkning kan anses som realistisk med tanke på politikktutforming, gitt statlig innsats knyttet til elektrifisering i andre deler av transportsektoren.

Hovedresultater

Tabell 1 viser anslag på samlede virkninger for hele FOT-nettet for de to scenariene sett i forhold til referansealternativet. Her er anslagene på rutenivå for i alt 13 ruter benyttet i generaliseringen, sammen med anslåtte investeringskostnader knyttet til framføring av elkraft og ladeinfrastruktur på lufthavnene.

Tabell 1 Anslåtte virkninger for FOT-nettet. Scenario 1 og 2 sett i forhold til referansealternativet.

Samfunnsøkonomiske virkninger, diskonterte til 2030, i 2022-kr.	Scenario 1	Scenario 2
Trafikantnytte		
Endret konsumentoverskudd for passasjerene ved reduserte billettpriser		1703 ¹
Klimautslipp (nytteeffekt)	718	697
Investeringskostnader		
Anleggsbidrag e-verk	-185	-185
Ladeinfrastruktur lufthavner	-972	-972
Flydriftskostnader	-1 634	-2 872
Restverdi		
Restverdi anleggsbidrag e-verk	103	103
Restverdi el-hybrid fly	175	192
Skattekostnader		
Skattekostnad, investeringer lufthavner	-231	-231
Skattekostnad på økt FOT-kjøp	-327 ²	-863 ³
SUM beregnede samfunnsøkonomiske effekter	-2 353	-2 478
Tilleggsinformasjon		
Inntektstap for operatør (netto av inntektsreduksjon ved redusert billettpris og inntektsøkning ved økt produksjon)/ca. årlig	0	1445/130
Beregnet endret FOT-kjøp, diskontert/ca. årlig ⁴	1634/150	4317/390
El-hybrid fly, kjøp, diskontert/årlig over 5 år	-576/-140	-634/-154

Netto endring i konsumentoverskudd kommer kun i scenario 2 på grunn av reduserte billettpriser og trafikkøkning. Endringen er beregnet til 1,7 mrd. kr. diskontert.

Vi har beregnet årlige utslipp fra FOT-nettet til ca. 51 000 tonn CO₂ i basisalternativet. For scenario 1 er samlede årlige utslipp beregnet til ca. 5 100 tonn CO₂. For scenario 2 er utslippene beregnet til ca. 6 500 tonn CO₂. Scenario 2 gir noe høyere utslipp på grunn av større ruteproduksjon kombinert med forutsetningen om 20 % fossildrevet produksjon av elkraft. Beregningene gir en reduksjon i klimautslipp på 90 prosent i scenario 1 i forhold til referansealternativet og tilsvarende 87 prosent i scenario 2. Verdien av reduserte klimagassutslipp kan være noe undervurdert i våre anslag, selv om det er en del forenklinger

¹ Netto samfunnsøkonomisk effekt er usikker, fordi en fastsatt billettprisreduksjon som ikke er motivert ut fra en endring i marginalkostnader kan omfordele et produsentoverskudd til konsumentoverskudd. Dette tallet kan inneholde en fordelingsvirkning av uvisse størrelse, og må anses som et øvre estimat.

² 20 % av endrede flykostnader. Inntektene er forutsatt uendret.

³ 20 % av sum økte flydriftskostnader (-2872 mill. kr) + anslått inntektstap ved billettprisreduksjon (-1,45 mrd. kr), som antas kompensert gjennom økte FOT-kjøp.

⁴ Årlige tall er med full drift, etter 5 år med opptrapping.

som kan trekke andre veien. Vi har blant annet ikke vurdert virkningene fra produksjon av el-hybrider. Verdien av reduserte klimagassutslipp sammenlignet med referansealternativet er lavere for scenario 2 fordi det blir produsert flere setekilometer og fordi en viss andel av elektrisitetsproduksjonen er drevet med fossilt brensel.

Ladeinfrastruktur innebærer betydelige investeringer. Utviklingen av elektrifiserte fly er i en tidlig fase. Beregningene av kostnader til ladeinfrastruktur må derfor betraktes som et anslag. Vi har ikke regnet med restverdi på ladeinfrastrukturen, selv om noen ladere vil kunne ha noen år igjen før analyseperioden utløper. Vi regner følgelig med at denne delen av infrastrukturen må fornyes etter rundt 15 år.

Flydriftskostnader for hele FOT-nettet er beregnet med utgangspunkt i en kostnadsmodell, med trafikkdata for FOT-rutene i 2019. Kapitalkostnadene ved ulike flytyper er inkludert i modellen for flydriftskostnader. Restverdiene omfatter infrastruktur og driftsmidler som vi regner med vil ha en verdi ved analyseperiodens utløp.

Skattekostnaden er beregnet for de investeringer og økte FOT-kjøp som vi har regnet med vil måtte bli finansiert over offentlige budsjetter. Dersom luftfarten helt eller delvis skal dekke dette gjennom gebyrer, så skal skattekostnaden reduseres proporsjonalt, men virkningene i trafikkmarkedet av høyere billettpriser blir en kostnad som i så fall må beregnes.

Konklusjon

En omlegging til el-hybridfly framstår ikke som samfunnsøkonomisk lønnsom på relativt kort sikt, med et anslått samfunnsøkonomisk underskudd på mellom 2,3 og 2,5 mrd. kr. Usikkerhetene i anslaget er betydelig, og den er kanskje størst når det gjelder flydriftskostnader samt det økte konsumentoverskuddet som er beregnet for scenario 2. Karbonprisbanen er også usikker.

Vi har ikke gjort noe forsøk på å anslå de omstillingskostnader som erfaringsmessig kommer ved overgang til ny teknologi.

Verdien av unngåtte klimautslipp må øke med en faktor 3 til 4 for å kunne gi marginal lønnsomhet, alt annet like. Perspektivene fram mot 2100 tilsier at utslippskostnadene vil kunne få en slik økning, basert på Finansdepartementets karbonprisbane til bruk i samfunnsøkonomiske analyser. Et nytt forskningsarbeid (Wangsness og Rosendal, 2022) har beregnet at en slik økning vil kunne komme tidligere, allerede fram mot 2050.

En slik økning i karbonprisene vil imidlertid påvirke andre sider ved beregningene. Passasjergrunnlaget vil eksempelvis bli påvirket av en slik økning, med mulig reduserte flydriftskostnader som en effekt. Hvordan en slik framtidig likevekt vil kunne bli, ligger utenfor rammen av denne studien.

Flydriftskostnadene er en hovedkomponent som øker betydelig ved el-hybrider. Mye av dette skyldes økt produksjon med mindre fly som er dyrere å operere pr. sete. I notatet har vi gjort en svært forenklet «blåkopiering» av dagens rutenett og med dagens kapasitetsutnyttelse. Her kan det ligge et potensial for bedret tilpasning, blant annet ved å se på rutestrukturen i Finnmark, som har vært berørt i flere utredninger. En justering av rutetilbudet vil også kunne påvirke referansealternativet, noe som også bidrar til en uvisst effekt for lønnsomheten.

Forskjellen i samfunnsøkonomisk resultat mellom scenario 1 og 2 kan virke liten, men den samsvarer med en tidligere studie av en 20 % billettprisreduksjon i kortbanenettet, beregnet ved hjelp av en transportnettverksmodell.

Vi har ikke gått inn på å gi noen vurdering av hvordan en omlegging vil kunne påvirke Avinors luftfartsgebyrer, hvorvidt fiskale avgifter som flypassasjeravgiften kan være egnet som finansieringskilde for en elektrifisering, eller om en differensiering av ulike gebyrer og avgifter kan gi operatørene incentiver til å ta ny teknologi i bruk.

1 INNLEDNING

Vi viser til utredningsoppdrag til Nasjonal transportplan 2025–2036 (SD ref. 21/2883) datert 6. september 2022, og arbeidsbeskrivelsen for prosjektet (som innledningen delvis er basert på). Denne beskrivelsen er relatert til punkt 8.1.4 i utredningsoppdraget, der SD har bedt Avinor om følgende:

1. Redegjør for Avinors kartlegging av alternative energibærere ved lufthavnene, herunder elektrisitetsforsyning, ladeinfrastruktur og hydrogenleveranser.
2. Redegjør for hvordan og når lufthavnene bør tilpasses og tilrettelegges for fly basert på lav- og nullutslippsteknologi sett i lys av teknologiutviklingen og myndighetenes mål om å fase inn lav- og nullutslippsteknologi på de regionale flyrutene.
3. Redegjør for hvordan lufthavnene på sikt kan utvikles for å legge til rette for andre former for utslippsfri lufttransport, droner, eVTOL, etc.
4. Vurdere så langt det er mulig sammenfallende energibehov og tiltak i øvrige deler av transportsystemet.
5. Vurderer om ev. tiltak knyttet til kulepunktene over forventes å kunne være samfunnsøkonomisk lønnsomme, og om disse vil kunne utløse krav om KVU/KS1 iht. statens prosjektmodell.

Vurderingene i dette notatet er primært relatert til punkt 5. Vi har søkt å inkludere flysiden i vurderingen, fordi de samfunnsøkonomiske virkningene av tiltak på lufthavnene i hovedsak manifesterer seg på flysiden gjennom eksempelvis reduserte klimagassutslipp. Det vil derfor være krevende å gjøre en samfunnsøkonomisk vurdering av tiltak på lufthavnene som i all hovedsak retter seg mot flysiden, uten å ta med denne. Vi ser få virkninger i andre deler av transportsystemet (punkt 4). Noe trafikk kan bli overført fra andre transportformer i et av våre scenarier (beskrevet senere), men disse effektene vil være små, slik vi ser det.

Analysen skal være overordnet. Vår tilnærming er å kunne vurdere tiltak som med rimelighet kan forventes å måtte være gjennomført innen 2035, altså innenfor kommende NTPs tidshorison, og gjeldende for kortbanenettet med fly (heretter også benevnt FOT-nettet, der det foretas offentlig kjøp av flyrutetjenester under Forpliktelse til offentlig tjenesteyting)⁵. Dette nettet har både kortere strekningslengder og et krav til flystørrelse som gjør det aktuelt for betjening med lavutslippsfly på mellomlang sikt, innen ca. 10 år.

Avinor har beregnet behov for strømforsyning og ladekapasitet, med tilhørende kostnadsoverslag. Innfasing av ny flyteknologi med tilhørende ladeinfrastruktur har vært drøftet med Luftfartstilsynet og Avinor, og utfallet av disse drøftingene er lagt til grunn for analysen.

⁵ Vi avgrensner følgelig mot droner (også for frakt) og e-VTOL, herunder helikoptre. Det finnes riktignok en helikopterrute til Værøy i dagens FOT-nett.

2 OM FLYTEKNOLOGI

Det er betydelig usikkerhet knyttet til hva som kommer av null-/lavutslippsteknologi innen 2035. Det som synes mest modent for den flystørrelsen som er aktuell for det norske kortbanenettet, er en full eller hybrid elektrifisering av luftfartøyer som vil være egnet for hele eller deler av kortbanenettet fra rundt 2030. Hybriddrift for å ivareta nødvendig rekkevidde inkludert sikkerhetsmargin synes egnet, slik at batteriene ikke blir for store og tunge. Vi bruker heretter betegnelsen el-hybrid om denne framdriftsformen. De hybride løsningene vil sannsynligvis kreve ladeinfrastruktur omtrent på linje med ren batteridrift, men at man i tillegg må ha mulighet for å forsyne en fossil drivlinje. I praksis så tror vi at en fossil drivlinje må kunne forsynes også utover denne NTP-perioden, av beredskapsmessige hensyn hvis det av en eller annen grunn skulle bli nødvendig å betjene nåværende flytyper for kortere eller lengre tid.

Airbus hevder at hydrogenteknologi burde være moden nok til å starte testing rundt 2025, med sannsynlig innføring av hydrogenteknologi for kommersiell drift fra rundt 2035. Vi har ikke grunnlag for å hevde at denne tidslinjen er usannsynlig, men vi tror likevel at den er usikker. En underliggende utfordring vil uansett være at dersom hydrogen skal bli ansett som en reelt sett bærekraftig drivstofftype, så krever det at en relativt energikrevende produksjon av hydrogen kan settes opp med fornybare energikilder, som ikke skaper fortrenningseffekter i andre markeder gjennom høyere energipriser og/eller bruk av ikke-fornybar energi. Akkurat denne diskusjonen er etter vårt syn en av de grunnleggende viktige i det grønne skiftet innen luftfarten. Den vil imidlertid ligge utenfor rammen av dette oppdraget.

Et kanskje mer nærliggende spørsmål er om en vellykket utvikling langs hydrogensporet kan påvirke økonomien når det gjelder de mindre flytypene som man i dag ser for seg kan kjøres på batteri og som kan komme i kommersiell drift før 2030. Dersom man skulle få løst utfordringene med hydrogen for større flytyper, så er det grunn til å tro at denne teknologien også skal kunne tilpasses mindre fly. Da melder spørsmålet seg om elektrifisering med tilhørende etablering av ladeinfrastruktur kan stå i fare for å bli utdatert ganske raskt. Dette er en form for «stiavhengighet» som man bør være oppmerksom på. Det er imidlertid uavklarte forhold blant annet knyttet til behov for kjøling av hydrogen (påvirker drivstofftankenes utforming og volum og mulig bruk i mindre flytyper), som bidrar til den teknologiske usikkerheten. I tillegg er det også et spørsmål om man vil kunne bruke hydrogen direkte i turbinene, eller til å produsere elektrisitet via brenselceller.

Denne utredningen vil derfor utelukkende vurdere innfasing av fly med el-hybriddrift, som i prinsippet vil tillate el-drift på de fleste strekningene innen FOT-nettet. Vi vurderer dette som det mest realistiske teknologiske sporet, men vi understreker at også dette er usikkert. Både denne tilnærmingen, og de beregningsresultatene som kommer ut av den, bør betraktes som eksempler på økonomiske virkninger som kan oppstå, basert på den informasjonen som foreligger pr. i dag.

3 METODISK TILNÆRMING OG AVGRENSNINGER

Den metodiske tilnærmingen for den samfunnsøkonomiske vurderingen vil være å ta utgangspunkt i Avinors veileder for samfunnsøkonomiske analyser, supplert med senere tids utvikling i metode og empiri innenfor NTP og statens prosjektmodell. Dette omfatter blant annet analyseperiodens lengde, kalkulasjonsrenten og karbonprisbanen, men ikke eksempelvis en full usikkerhetsanalyse eller korreksjoner i faktorpriser ut fra den pågående konflikten i Ukraina. Vi understreker at vi gjør grove overslagsberegninger ut fra en teknologisk fundamental usikkerhet knyttet til tiltak som ligger rundt 10 år ut i tid.

3.1 OM VIRKNINGER

Vi har forsøkt å tallfeste virkninger av overgang til ny teknologi når det gjelder energibruk, utslipp og infrastrukturkostnader. Flykostnader er også tallfestet. Den underliggende teknologiske usikkerheten er som nevnt vesentlig, og vi har lagt vekt på å belyse denne i beregningene. Vi skal beskrive framgangsmåten for å belyse disse effektene i noe mer detalj i neste kapittel.

Når det gjelder andre forhold, så har vi sett bort fra de reisendes tidsbruk, støy og hensyn til naturmiljø, som kanskje er de mest relevante realøkonomiske tilleggseffektene. Vi knytter noen korte kommentarer til disse virkningene, som ikke vil bli omtalt videre.

Tidsbruken kan bli noe lengre med de flytypene som det synes mest aktuelt å sette i drift. For de korte strekningene på kortbanenettet så kan dette dreie seg om få minutter, i de fleste tilfeller rundt 5 minutter økt flytid. Wangsness m fl (2021) anfører at det er en viss økt betalingsvilje blant passasjerene for å benytte elfly (som vi vurderer å ligge nært opptil el-hybrider i denne sammenheng all den tid framdriften i hovedsak skal være med elektrisitet) framfor konvensjonelle fly. Dette kan gjelde i et lengre perspektiv, eller være avgrenset til så lenge slike fly har nyhetens interesse. I sum så mener vi at forskjellen i tidskostnader og øvrig konsumentoverskudd hos de reisende er så vidt små størrelser at vi ikke beregner dem her.

Støy er i prinsippet en prissatt effekt i samfunnsøkonomiske analyser der variasjon i støybildet mellom beregningsalternativer har betydning. Støybildet er annerledes og sannsynligvis svakere for denne motortypen enn for konvensjonelle fly. Samtidig er det svært små støyproblemer knyttet til dagens drift av kortbanenettet. Det er få avganger pr. dag, og lufthavnene ligger ofte unna boligområdene. Vi vurderer bidraget til redusert støy fra el-hybrider i kortbanenettet til å være lite også for de store lufthavnene. Dersom hydrogen med brenselceller til drift av elmotorer kommer sterkere inn i bildet for større flytyper, så vil vi imidlertid kunne se større utslag på støybildet. I denne omgang ser vi imidlertid bort fra støy som en realøkonomisk effekt.

Effekten på *naturmiljø* kan primært komme fra en mer ressurskrevende produksjon av el-hybrider (hovedsakelig på grunn av batteriene), samtidig som produksjonen av elkraft enten til bruk direkte i batterier eller til produksjon av hydrogen kan komme fra kilder som medfører visuell forurensning (eksempelvis vindkraft), delvis bruk av fossil energi og andre kilder som kan ha negative virkninger. Tilsvarende gjelder for produksjon av Sustainable Aviation Fuel (SAF), som riktignok skal skje etter definerte kriterier for bærekraft. Hydrogendrevne og kanskje særlig batteridriften ved el-hybrider har imidlertid en høyere virkningsgrad pr. energienhet sammenlignet med konvensjonelle fly, noe som kan dempe ulemper for naturmiljø pr. flybevegelse. Vi prissetter reduserte klimagassutslipp i henhold til den siste karbonprisbanen fra Finansdepartementet (2083 kr./tonn CO₂ gjennom hele analyseperioden), men vi behandler ikke virkningene for naturmiljøet ut over dette. Usikkerheten om de samlede effektene på naturmiljø i produksjons- og driftsfasen sammenlignet med konvensjonelle fly, er betydelig.

Når det gjelder andre mulige effekter som ikke er prissatt, så trekker Wangsness m fl (2021) fram forsikring mot «worst case» tiltakskostnader og mot politisk vegring når det gjelder å sette riktige karbonpriser. Videre har de vurdert gevinsten av å få etablert et nettverk av elflyruter, tidlig teknologiutvikling og implementering for det globale luftfartsmarkedet. De har også vurdert tidligere innfasing av elfly som et distriktspolitisk virkemiddel, herunder muligheten for å kunne redusere investeringstakten på vei og jernbane i distriktene, fordi elfly vil kunne være en klimavennlig transportform i tynt befolkede områder. Vi viser til de vurderingene som er gjort i den rapporten for disse elementene.

Vi mener at vurderingene i Wangsness m fl (2021) også kan være representative for el-hybrider, der eldrift som sagt skal være dominerende. Vi tror kanskje at tidligfase uttesting og iverksetting kan gi den potensielt største gevinsten blant de nevnte effektene. Dette vil sannsynligvis være «førsteordenseffekten» som gir raskere utbredelse, og som vil danne en premiss for eksempelvis nettverkseffekter og el-hybridenes rolle i distriktspolitikken.

Vi har ikke vurdert hvordan logistikken på lufthavnene kan bli påvirket av el-hybrider og økt tilgang på ladeinfrastruktur. En grunn til dette er at en slik gjennomgang vil være en analyse for seg. En annen grunn er at vi finner grunn til å tro at lading av kjøretøyer mv. i prinsippet vil kunne la seg gjennomføre uavhengig av tiltak for å lade flyene, og følgelig også inngå i referansealternativet (se kap. 3.2). En nytteeffekt som vi ikke har kvantifisert, vil være uttak av samdriftsfordeler dersom ladeutstyr for fly enkelt kan tilpasses lading av kjøretøy, både teknisk og driftsmessig.

Vi har heller ikke vurdert pekuniære eksterne effekter i kraftmarkedet ved økt etterspørsel etter elkraft, altså om lading kan påvirke strømprisen i de aktuelle områdene. Vi mener det er grunn til å tro at dette vil dreie seg om en liten effekt.

3.2 BEREGNINGSLTERNATIVER

En samfunnsøkonomisk analyse baserer seg på et referansealternativ som skal være en videreføring av dagens situasjon inkludert vedtatte endringer. Dette alternativet skal etter statens prosjektmodell være en videreføring av dagens driftsopplegg på en måte som gjør dette alternativet i stand til å dekke markedets behov på dagens nivå, der man tar hensyn til utvikling på drivstoffsidene som man med sikkerhet vet vil komme gjennom analyseperioden, som eksempelvis innblanding av biodrivstoff/SAF. Den vil i prinsippet kunne påvirke referansebanen for klimagassutslipp. Det er ambisjoner om en vesentlig økt innblanding av SAF, jfr. programmene Fit for 55 og REFueLEU Aviation⁶. Det er imidlertid ikke klart hvordan dette skal kunne oppnås på bærekraftig vis. På grunn av denne usikkerheten så har vi derfor valgt å videreføre dagens innblandingsforhold gjennom analyseperioden. Dette innebærer at vi isolert sett overvurderer reduksjonen i klimagassutslipp noe ved overgang til el-hybrider. Vi mener likevel at denne usikkerheten er av mindre betydning sammenlignet med en del andre tekniske forhold samt usikkerhet knyttet til selve innfasingen av nye flytyper.

Det er reist en problemstilling rundt levetiden for dagens flåte i kortbanenettet. De Havillands ESP PLUS hevder å kunne forlenge levetiden på dagens Dash 8-100/200 (heretter benevnt Dash 8) med en dobling av levetiden fra 80 000 til 160 000 timer, noe som ifølge produsenten kan tilsvare opp mot 30 ekstra driftsår⁷. Vi anser derfor et slikt referansealternativ som realistisk, selv om det vil kunne bli kostnadskrevende.

To utviklingsscenarier er utformet. Innenfor kommende NTP-periode (2025-2036) vil vi legge innfasing av el-hybrider i kortbanenettet til grunn. Vi mener det er sannsynlighetsovervekt for at

⁶ www.easa.europa.eu/en/light/topics/fit-55-and-refueleu-aviation

⁷ I tillegg er denne flytypen også planlagt testet med hybrid-elektrisk drift.

egnete teknologiske konsepter vil kunne foreligge innen utløpet av denne perioden, for fly med opptil 30 seter. Vi forutsetter dermed at innfasing av større, hydrogendrevne fly vil ligge noe lenger ut i tid. Skulle dette endre seg, så kan man gjennomgå aktuelle tiltak ved neste rullering av NTP.

Framfor å variere teknologien i de ulike scenariene, så har vi variert det statlige engasjementet i sektoren. Dette vil kunne påvirke markedssiden, som er bestemmende for nyttesiden av tiltakene. Vi har vurdert to scenarier for et statlig engasjement:

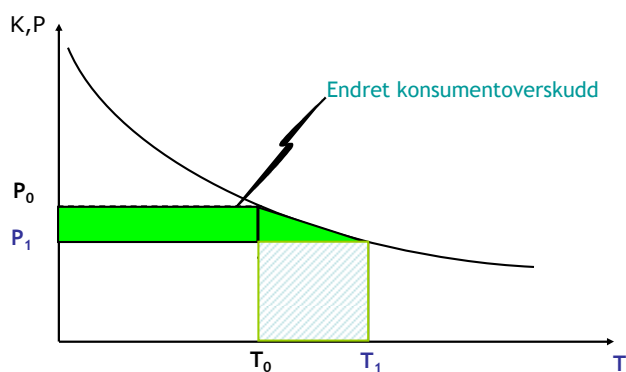
3. Kjøp av flyruter med det samme billettprisnivået som i dag.
4. Kjøp av flyruter med et 20 % redusert billettprisnivå.

Det første scenariet vil påvirke kostnadene. Det andre vil i tillegg gi en markedseffekt, med en tilhørende større kostnadseffekt. Begge scenariene vil innebære en endring av det statlige engasjementet, både ovenfor flyplasser og flyselskapene. Vi tror likevel at en slik tenkning kan anses som realistisk med tanke på politikktutforming, gitt statlig innsats knyttet til elektrifisering i andre deler av transportsektoren.

Scenario 1 vil sannsynligvis innebære en noe lengre flytid, men endringen vil være relativt liten, og som nevnt kanskje et stykke på vei kompensert med preferanser for eldrift i deler av markedet. Wangsness m fl (2021) har, som nevnt ovenfor, kartlagt markedets preferanser for å benytte el-fly, der de identifiserer en betalingsvillighet på opp mot 20% for de som er mest positive til el-fly. Flertallet av de spurte signaliserte imidlertid ingen økt betalingsvillighet, men at de vil akseptere 10 minutter økt flytid på den strekningen som rapporten omhandler, Stavanger-Bergen. En viss økning i betalingsvilligheten kombinert med en høy aksept for en økning i reisetiden (10 minutter vil være i overkant av den vi vil stå ovenfor i hoveddelen av kortbanenettet), betyr at etterspørselastisiteten med tanke på endret tidsbruk er relativt lav. Følgelig kan vi regne med små etterspørselseffekter av økt flytid alene. På kostnadssiden må vi imidlertid ta hensyn til skattekostnadene ved det økte engasjementet som høyst sannsynlig må legges inn for å kompensere både flyplasser og flyselskap. Flydriftskostnadene vil utgjøre en vesentlig del av grunnlaget for det forventede nivået på det statlige økonomiske engasjementet. Disse er modellberegnet for dagens flytype (Dash 8) og justert med grunnlag i tilgjengelige data om kostnader for el-hybrider. Modellen, benyttet blant annet i Bråthen m fl (2021), beregner i prinsippet gjennomsnittskostnader. Vi har også basert oss på justeringen gjennomført i Wangsness m fl (kap. 6), ut fra at el-fly vil være dyrere i innkjøp. Vi tror ikke at el-hybrider vil være rimeligere i innkjøp. Hybriddrift med to drivstofftyper gir etter vårt syn heller ikke grunnlag for å redusere vedlikeholdskostnadene. Men energibruk og utslipp vil være lavere, og det tar våre beregninger hensyn til.

Scenario 2 vil ha de samme teknisk/operative egenskapene som scenario 1, men det vil medføre en markedsmessig reaksjon på lavere billettpriser. Scenarioet vil sannsynligvis innebære en betydelig økning av det statlige engasjementet, særlig til flyselskapene. Vi har tatt et overordnet kapasitetsbehov i betraktning ved denne gjennomgangen, og dette behovets virkning på kostnadene. Det foreligger anslag på priselastisiteter (Jansson 2007, Bråthen m fl 2021) som er benyttet til å anslå markedsreaksjoner og kapasitetsbehov. Vi tar utgangspunkt i en priselastisitet på -0,4, basert på endring i billettpris. En 20 % reduksjon i billettpris vil da gi 8 % engangsvekst i trafikken. Trafikkveksten i etterfølgende år blir ikke påvirket.

Scenario 2 vil også medføre en økning i konsumentoverskuddet. Figur 1 viser dette.



Figur 1. Endret konsumentoverskudd ved redusert billettpris

Det fargede feltet viser denne økningen. Trafikk T_0 er det antall passasjerer som benytter tilbudet i dag, mens $(T_1 - T_0)$ er nyskapt trafikk på grunn av lavere billettpriser. Det skraverte feltet viser økte billettinntekter fra økt produksjon.

Det økte offentlige kjøpet som må til for å kompensere selve inntektsbortfallet fra reduserte billettpriser kan, igjen noe forenklet, illustreres ved det fargede rektangelet, fratrukket de økte billettinntektene som følger av økt trafikk i scenario 2 (skravert felt)⁸.

Vi kjenner ikke eksakt hverken gjennomsnittskostnads- eller marginalkostnadskurvene. Vi kan derfor ikke fastslå med sikkerhet om deler av konsumentoverskuddet er et omfordelt produsentoverskudd. Vi kan anse det beregnede konsumentoverskuddet som et øvre anslag på den samfunnsøkonomiske effekten i trafikkmarkedet.

I tillegg til en kompensasjon for inntektstap, vil også endrede flydriftskostnader påvirke behov for å endre omfanget av FOT-kjøp. Et FOT-kjøp finansieres i prinsippet gjennom et innhentet produsentoverskudd i norsk økonomi, som kreves inn i form av skatter. Denne skattekostnaden settes til 20 % av det endrede kjøpsbehovet (rundskriv R109/21, Finansdepartementet), og er beregnet nedenfor.

3.3 VALG AV FLYSTØRRELSE

30-seters rene elfly med trykkabin synes i dag å kreve minst 1100 meters rullebaner, noe som vil begrense bruken særlig i Nord-Troms og Finnmark, men også i deler av Nordland og Midt/Sør-Norge. 19-setere (EASA CS 23 kategori mht. vekt og operasjoner) vil kunne bruke 800-meters baner, men aktuelle prospekter har ikke trykk-kabin pr. i dag. På grunn av værmessige forhold så er trykkabin i dag stilt som et krav i Nord-Troms og Finnmark.

Felles for begge disse størrelsestypene er at endelige spesifikasjoner kan ligge et stykke fram i tid. Det er usikkert hvorvidt det er større sannsynlighet for å kunne få 30-seters elfly til å operere på 800 meters rullebaner enn å få 19-setere med trykk-kabin. Med andre ord står vi i dag i en situasjon der situasjonen er noe uavklart. Det eksisterer ikke typer el-fly med spesifikasjoner som kan benyttes i hele kortbanenettet.

El-hybrider på 30 seter er antatt å kunne benytte 800-meters baner på grunn av lavere batterivekt⁹. Dette kravet til banelengde må oppfylles for å kunne betjene hele kortbanenettet. Vi vil derfor legge 30-seters el-hybrider til grunn for disse overslagsberegningene. Disse ligger

⁸ Figuren overdriver nyskapt trafikk, fordi priselastisiteten er lavere enn det figuren viser. Størrelsesforholdet mellom feltene er ikke representative for tallstørrelsene.

⁹ Et eksempel på konsept er kort beskrevet her: <https://www.traveldailynews.com/post/embraer-the-shape-of-things-to-come>

nærmest opp til dagens Dash 8 som har 39 seter. De vil antakelig ha noe høyere maksimalt tillatt startvekt (MTOW) pr. sete enn Dash 8 på grunn av batteriene. Derfor benytter vi 30 seters kapasitet i denne analysen.

For kortbanerutene så er innslaget av 'nødvendighetsreiser' høyt, blant annet på grunn av relativt høye billettpriser, noe vi regner med vil være situasjonen framover også. Dette betyr at de trafikktoppene som skal betjenes, i beskjeden grad kan spres selv om innslaget av arbeidsbetingede reiser etter koronapandemien kan gå noe ned. Det betyr at man for en del trafikksterke ruter i noen grad må dublere avgangene morgen og ettermiddag. Dette er inkludert i beregningene i form av at setekapasiteten blir opprettholdt og antall fly samt utnyttelsesgraden tilpasset for å kunne gi denne kapasiteten.

3.4 NÆRMERE OM ANTALL FLY

I dag opererer Widerøes Flyveselskap ASA (WF) 25 fly, hvorav 18 benyttes i FOT-nettet og hvor flere av disse ikke er fullt utnyttet (basert på data fra OAG). Det er en del usikkerhet knyttet til det nødvendige antall maskiner som må til for å kunne opprettholde referansebanen. På grunn av alder så er det grunn til å regne med at et antall maskiner er ute av drift til enhver tid grunnet vedlikehold. Vi vil derfor legge til grunn at det vil være behov for samtlige 25 maskiner gjennom analyseperioden, men at de løpende flydriftskostnadene beregnes ut fra faktisk ruteproduksjon basert på 2019-nivået. Dette danner også en premiss for beregning av energibruk og klimagassutslipp. Grunnet den tekniske utviklingen samt flyenes alder så regner vi med at restverdien av de 25 maskinene er beskjeden ved analyseperiodens utløp. Vi kjenner ikke til hvor mange maskiner som vil ha gjennomgått en «life extension» som er tilstrekkelig til at de vil ha en levetid ut over 2045 (da de fleste flyene vil være 50 år gamle eller mer). Vi vil legge en summarisk restverdi på 10 % av beregnet kjøpsverdi for en maskin med relativt nylig gjennomgått «life extension» til grunn. Dette er nærmere behandlet i kapittel 4.2.1.

Når det gjelder 30-seters el-hybrider så velger vi å beregne scenario 1 med 20 stk. 30-seters fly. Da forutsetter vi implisitt at kapasitetsutnyttelsen kan økes med rundt 15 % i dagens flåte av 18 stk. 39-setere. Vi velger imidlertid ikke å legge inn økt kapasitetsutnyttelse i basis-scenariet på grunn av flyenes alder og vedlikeholdsbehov. I scenario 2 øker vi antallet til 22 fly, basert på en 8% etterspørselsvekst, som beskrevet nedenfor.

3.5 INFRASTRUKTUR PÅ LUFTHAVNENE

Nødvendig innsats på lufthavnsiden og inn til disse (ladere, bygg, utstyr ved gate, kabling, forsyning) vil sannsynligvis i liten grad bli påvirket av disse to scenariene seg imellom, men vesentlig mer sett i forhold til referansealternativet. Data for kostnader er hentet fra Avinor. Tidslinje for innfasing av ny infrastruktur med tilhørende flydriftsopplegg er definert i samråd med Avinor, Luftfartstilsynet og operatører, men valgte forutsetninger er utreders ansvar. Vi forutsetter at det ikke må gjennomføres tiltak på rullebanesiden (forlengelser).

3.6 GEOGRAFISK AVGRENSNING

Vi ønsker å avgrense det primære studieområdet til et fåtall ruter som kan betjenes av 30-setere, og der flystrekningene er så vidt korte at sikkerhetsmarginene ved å måtte fly til nabolufthavner kan oppfylles med beskjeden bruk av hybridløsningen. De rutene som vi har valgt, er:

- Ruten Bergen-Florø.¹⁰
- Rutene mellom Bodø og Røst, Leknes samt Svolvær.

Andre ruter kunne vært valgt. Poenget med denne analysen er ikke å gi noen prioritering knyttet til innfasingen, men snarere å behandle et utvalg av egnede ruter innenfor en svært kort tidsramme for denne studien.

Vi har tatt utgangspunkt i dagens ruteproduksjon og trafikkvolumer til å beregne markeds- og kostnadmessige konsekvenser av de to scenariene for statlig engasjement som er nevnt ovenfor. Dette følger mye av logikken som er anvendt i analyser av FOT-nettet, se f.eks. Bråthen m fl (2021).

Resultatene er forsøkt generalisert til de andre ruteområdene sett under ett. Dette er gjort grovt ved blant annet å se på markedsmessige reaksjoner, basert på en anslått priselastisitet på 0,4 regnet ut fra billettprisendringen, endringer i det tilskuddsnivået som ytes pr. i dag og endringer i den produksjon som flys der pr. i dag.

Rutene nevnt ovenfor kan synes som et tilsynelatende enkelt utgangspunkt for beregningene. Vi gjør oppmerksom på at det er flere forhold som gjør bildet mer komplekst. Kanskje det viktigste er hvordan en kombinasjon av ulike flytyper i framtiden (permanent, eller i en kortere eller lengre overgangsperiode) kan påvirke kostnadene. Eksempelvis vil man i dag kombinere de nevnte rutene i et nett med andre flyplasser der man optimaliserer bruken av flyparken. Hvis rekkevidde og andre teknisk/operative begrensinger med el-hybrider setter begrensinger på samdriftsegenskapene rutene imellom, vil dette påvirke kostnadene negativt. Slike vurderinger har vi ikke kunne gå inn i, innenfor gjeldende tidsramme og gitt den underliggende teknologiske usikkerheten som foreligger.

3.7 ENDRET OFFENTLIG KJØP

Dette punktet er berørt i omtale av scenariene ovenfor. Endring i produksjon og kostnadene ved dette vil bli lagt til grunn for beregning av endret kjøp av FOT-ruter. En grovkornet generalisering fra rutene beskrevet ovenfor og til resten av kortbanenettet er gjennomført.

3.8 ENERGIBRUKS- OG UTSLIPPSBEREGNINGER

Disse beregningene har tatt utgangspunkt i dagens produksjon, hvordan scenario 1 og 2 påvirker denne, og hvordan utslipp ved overgang til el-hybrider blir i de to scenariene, sammenlignet med referansealternativet. Det finnes energimodeller som også tar inn nettverkseffekter til annen transport mv., basert på de persontransportmodellene (NTM-6 for lange reiser) som benyttes i Norge. Vi mener at for det presisjonsnivået som kreves her, så er en enkel, Excel-basert beregning basert på endret produksjon i de to scenariene regnet mot referansealternativet og spesifikke utslipp etter flytype, tilstrekkelig. Finansdepartementets siste karbonprisbane er benyttet ved beregning av utslippskostnadene.

Tilsvarende generalisering til hele kortbanenettet som omtalt ovenfor, er gjennomført.

¹⁰ Ruten Stavanger-Bergen er dekket i Wangsness m fl. (2021).

4 NÆRMERE OM BEREGNINGER

I dette kapitlet vil vi gå gjennom de ulike delene av beregningene. Vi starter med flydriftskostnader og går deretter inn på kostnader ved ny infrastruktur på lufthavnene. Til slutt ser vi på energibruks- og utslippsberegninger. Innledningsvis sier vi litt om diskonteringsprosessen.

4.1 DISKONTERING OG RESTVERDIER

Vi bruker faste priser (dagens), med unntak av karbonprisbanen der vi følger Finansdepartementets siste karbonprisbane. Så diskonterer vi til basisår 2030 som sammenligningsår, og summerer effektene over en 15 års analyseperiode fram til 2045. Flyene er gitt en forutsatt levetid på 20 år før en eventuell stor oppgradering, som er en vesentlig kostnad. Avskrivningen er lineær, det vil si samme beløp pr. år.

Årlige effekter omfatter endringer i:

- Konsumentoverskudd i scenario 2 for nyskapt trafikk på grunn av reduserte billettpriser,
- Endrede flydriftskostnader i begge scenarier,
- Redusert produsentoverskudd i begge scenarier (forutsatt kompensert gjennom endret FOT-kjøp). I scenario 1 endres produsentoverskuddet gjennom endringer i flydriftskostnader, i scenario 2 endres flydriftskostnadene noe mer, og virkninger av reduserte billettpriser kommer i tillegg. Alt dette manifesterer seg gjennom skattekostnader ved endrede FOT-kjøp.
- Utslippskostnader.

Vi ser bort fra årlige drifts- og vedlikeholdskostnader ved ladeinfrastruktur og eventuelle andre tilleggsinstallasjoner som må til for å drifte el-hybridene. Dette vil være mindre tallstørrelser i denne sammenhengen. Vi regner uten trafikkvekst i begge scenarier, men med den nevnte engangseffekt på 8% trafikkøkning som følge av 20% billettprisreduksjon i scenario 2.

Restverdier for fly og infrastruktur behandles slik:

- Restverdi for fly (kap. 4.2.1):* Restverdiene i 2045 diskonteres til sammenligningsår 2030. Flyene regnes å ha en levetid på 20 år, og avskrives lineært.
- Restverdi for framføring av energi til flyplasser (kap. 4.5.1):* Investeringene diskonteres til 2030 som sammenligningsår. De skrives ut med full restverdi (dvs. uten avskrivning all den tid denne infrastrukturen kan regnes som fullt ut intakt), og diskonteres på tilsvarende måte som i a) ovenfor. Differansen mellom diskontert investerings- og restverdi uttrykker kostnaden ved å binde kapitalen.
- Restverdi for ladeinfrastrukturen på flyplasser (kap. 4.5.2):* Den avskrives helt, altså null i restverdi. Investeringene diskonteres til 2030 som sammenligningsår.

4.2 BEREGNING AV FLYKOSTNADER

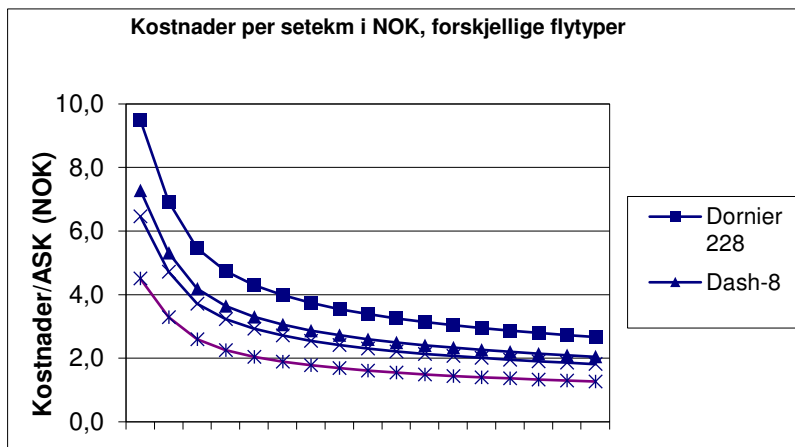
Vi skal her beregne kostnadene i basisalternativet (dagens tilbud med Dash 8) og dersom vi betjener de aktuelle rutene med el-hybrider.

Utgangspunktet for beregningen er en modell basert på Janic (2000). Den gir gjennomsnittskostnadene per flygning avhengig av flystørrelse og lengden på ruter uten mellomlandinger (leg):

$$C(n, d) = 7.934 \cdot n^{0.603} \cdot d^{0.656}$$

hvor $C(n, d)$ er gjennomsnittlige kostnader per flygning
 n er flyets setekapasitet
 d er rutelengden

Konstantleddet kan justeres med utvikling i valutakurs (mot EUR) og indeksert med f.eks. KPI. Vi har gjort dette for å få en best mulig tilpasning i 2022-kr.



Figur 2. Kostnader per setekm (ASK) for forskjellige flytyper. Konstantleddet i modellen er justert for omregning fra EUR i den opprinnelige modellen til NOK, og indeksert med KPI.

Figur 2 illustrerer at modellen gir degressive kostnader i to dimensjoner, både setekapasitet/flygning og lengden på strekningen. Hvis en rute består av flere strekninger så må modellen kjøres strekning for strekning. Opprinnelig ble modellen kalibrert for lengre strekninger og større flytyper. Den har imidlertid vist seg å gi god tilpasning til kostnadsdata for kortbanenettet.

Modellen brukes for å beregne flydriftskostnader for hver strekning, for ulike scenarier og flytyper/størrelser (her dagens 39-seters fly mot 30 seters el-hybrider som er benyttet i scenario 1 og 2). Sammen med anslag på billettinntekter, passasjerbelegg og trafikkvekst gir den et grunnlag for å beregne et anslått FOT-tilskudd. Så endrer vi billettpriser fra scenario 1 til 2, og regner gjennom på nytt med revidert kapasitet. Vi får da fram et anslag på endret FOT-tilskudd, som et uttrykk for en anslått endring i statens økonomiske bidrag til elektrifiseringen av luftfarten dersom man skulle ønske å senke billettprisene noe. Dette er også drøftet i forbindelse med figur 1 ovenfor. Hvordan modellen mer spesifikt er benyttet ved beregning av kostnader ved el-hybrider og ved beregning av energibruk og klimagassutslipp, er nærmere beskrevet nedenfor.

Det er grunn til å understreke at el-hybridene representerer ny teknologi, som innebærer vesentlig usikkerhet når det gjelder både startpunkt for enhetskostnader og skalaegenskaper, sammenlignet med de flystørrelser som danner grunnlaget for estimering av modellens koeffisienter, og de mindre flystørrelser som modellen har vært testet på tidligere, og med brukbart resultat. Den største usikkerheten tror vi er knyttet til kapital og teknisk vedlikehold. Dette kan også gjelde for basisalternativet, all den tid man må påregne betydelige kostnader knyttet til vedlikehold og oppgradering av dagens flåte.

En manglende dypere analyse av disse usikkerhetene er en svakhet ved utredning som forfatterne er klar over, og der både tid og tilgang på informasjon har gjort at egnede usikkerhetsanalyser som grunnlag for beregning av forventningsverdier ikke har latt seg gjennomføre. Det eneste som en kan anføre, er at slike teknologisk betingede usikkerheter tenderer mot å trekke kostnadene opp. Det kan i beste fall bety at *differansen* mellom basis-scenariet og scenariene 1 og 2 ikke blir urimelig sterkt påvirket.

Vi har fått sammenlignet flykostnadsberegningene for referansealternativet med Avinors planleggingsverktøy MP2 Airport (Industrial Optimizer) som modellerer mer detaljert på ulike kostnadskomponenter. Resultatene er i brukbart samsvar, selv om det var ett større avvik for en kortere rute grunnet vår modells degressive egenskaper. Tendensen var at vår modell lå noe lavere på samlede gjennomsnittskostnader. Betydningen av dette er neppe stor, også all den tid vi regner på differansen mellom scenarier. Hvis begge estimatene ligger noe lavt, så behøver ikke dette å påvirke differansen i vesentlig grad.

Når vi har evaluert modellen for referansealternativet, så har vi lagt noen forutsetninger til grunn etter mønster fra Wangsness m fl (2021). De har vurdert en del kostnadskomponenter og sammenlignet elfly med konvensjonelle fly. Vi har fulgt samme mal, der følgende kostnadsfaktorer er vurdert:

- Energi, der kostnadene ved en 30-seters el-hybrid er antatt å ligge på 38 % av Dash 8. Energi pr sete er satt til 50% av en Dash 8.
- Kostnadene ved mannskap og handling er satt likt.
- Vedlikehold er satt likt pr. fly, der vi implisitt forutsetter at hybridteknologien krever noe mer vedlikehold pr. sete, inkludert utskifting av batterier.
- Kapitalkostnadene er økt med 30 % pr. fly. Dette er med utgangspunkt i differansen mellom et 19-seters elfly og Dash 8 i Wangsness m fl (2021) men der vi har justert kostnaden pr. sete for 19-seteren med den skalafordelen opp til 30 seter som vår modell gir. Pr. sete tilsvarer dette en økning i kapitalkostnader på rundt 70%.
- Øvrige kostnader er skalert ned med forholdet 30/39.
- Avinors gebyrer er beholdt fordi de er betaling for tjenester, mens den fiskale flypassasjeravgiften er tatt ut.
- I sum betyr dette at en 30-seters el-hybrid har gjennomsnittlige flydriftskostnader på rundt 85% av en Dash 8, pr. flybevegelse.

Når det gjelder kostnader knyttet til batteridelen av hybriddriften, så har vi ikke behandlet disse særskilt. Men vi har summarisk økt vedlikeholdskostnadene med vel 70% sammenlignet med anslagene for ren eldrift i Wangsness m fl (2021), og de er satt likt med beregningene for Dash 8 i samme rapport, jfr. tredje kulepunkt ovenfor. Dette er gjort både av hensyn til hybriddriften og batteriene. Disse vil ha en begrenset levetid og må kanskje byttes hvert halvår. Det finnes helt klart en usikkerhet i beregningene knyttet til batterikostnader. Det kan, i likhet med batterier fra elbiler, tenkes at utrangerte batterier fra flydriften kan ha verdifull restkapasitet for andre formål.

4.2.1 BEREGNINGER AV FLYKOSTNADER I BASIS OG VED INNFØRING AV EL-HYBRIDER

Vi regner med at el-hybridene innføres fra starten av 2033, og gjennom 5 år til ut 2037 for hele nettet, med lineær innfasing (samme antall fly settes i drift i hvert av årene). For de rutene som vi studerer, så forutsetter vi at de settes i drift i løpet av 2033. Vi diskonterer relevante

økonomiske virkninger til 2030 med prisnivå 2022-kr, som vist i kap. 4.1. For flykostnadene gjelder dette flydriftskostnader, restverdier av flykapasiteten ved analyseperiodens slutt samt skattekostnadene ved endringer i FOT-tilskudd.

Antall passasjerer hentes fra Avinors statistikk. Gjennomsnittlig billettpris er satt til 60% av maksimalpris, basert på Bråthen m fl (2018).

Flydriftskostnader beregnes for følgende scenarier:

- Basis, med dagens Dash 8.
- Scenario 1: 30 seters el-hybrider med dagens billettpriser.
- Scenario 2: 30 seters el-hybrider med 20% økning i billettpriser. Dette gir noe høyere etterspørsel og følgelig en viss økning i flydriftskostnader.

Vi øker kapasiteten i takt med etterspørselen, og velger dermed å holde kabinfaktoren på dagens nivå. Dette er gjort ut fra at ruteføringen er stedvis kompleks, og det er vanskelig å lese hvor flaskehalsen kan oppstå ut fra kabinfaktoren alene. Da måtte vi i så fall ha gått dypere ned i ruteføringen enn det denne studien tillater. Billetttinntekter i hvert av scenariene sammenholdt med kostnader, gir et beregnet tilskuddsbehov. Begge scenariene med el-hybrider sammenholdes med basis-scenariet, og skattekostnaden ved endret tilskuddsbehov beregnes og tas inn som en samfunnsøkonomisk kostnad (lik 20% av endret tilskuddsbehov). Vi forutsetter implisitt at beregnet økning i tilskudd blir dekket av myndighetene.

Kjøpsprisen på fly er ut fra følgende forutsetninger: Leasingkostnaden på Dash 8 er regnet til 20 000 – 25 000 USD/måned. Leasing/måned utgjør 0,8-0,9% av nypris. Dersom vi setter USD-kurs til NOK 9,0, leasingkostnad USD 25 000/måned med 0,9% av nypris, så får vi en kjøpspris/fly på 25 mill. kr. Dette er antakelig ikke i overkant, gitt dagens bruktpriis som kan ligge omtrent på dette nivået eller over. Så forutsetter Wangsness m fl (2021) at et 19-seters elfly vil ha samme kapitalkostnad som et 39-seters konvensjonelt fly. Gitt denne forutsetningen, vil setekostnaden for et 19-seters elfly ligge på rundt det dobbelte av en konvensjonell 39-seter. Vår kostnadsmodell med stordriftsfordeler etter setekapasitet tilsier at setekostnaden for en 30-seter ligger på en faktor 0,83 av en 19-seter. Dette forholdstallet inkluderer også andre forhold enn kapital, men det er grunn til å tro at stordriftsfordeler på kapitalsiden gjelder. I mangel av et mer presist anslag så benytter vi dette forholdstallet, som vil gi en kostnad på en 30-seters el-hybrid som vil være 1,31 ganger kostnaden for en konvensjonell 39-seter, altså rundt 33 mill. kr. Dette er antakelig noe lavt regnet, og vi setter innkjøpsprisen skjønnsmessig til 35 mill. kr. pr. fly.

Kjøpsprisen vil bli benyttet til å beregne restverdien på flyene ved analyseperiodens slutt, 2045. Vi antar som nevnt ovenfor at 20 stk. 30-setere må anskaffes i scenario 1, og 22 fly i scenario 2. Dette gir henholdsvis 700 mill.kr. og 770 mill.kr. innfasert over 5 år. Vi regner med at flyene har en levetid på 20 år¹¹, og at de avskrives lineært. Restverdiene i 2045 diskonteres til sammenligningsår 2030.

4.3 BEREGNING AV ENDRET KONSUMENTOVERSKUDD

Denne beregningen følger av figur 1 i kap. 3.2. Denne gjøres kun som et anslag på aggregert nivå.

¹¹ Levetiden på denne teknologien er ikke kjent. Det er uansett grunn til å regne med kostbare oppgraderinger senest rundt denne levetiden.

4.4 BEREGNING AV ENERGIBRUK

For 30-seters el-hybrider, så er energibruken satt til 50% av energibruken pr. setekm., sammenlignet med Dash 8. Ved ren eldrift kan energibruken gå ned mot 1/3, men vi har altså lagt til grunn at hybridløsningen er noe mer energikrevende.

For Dash 8 så har vi regnet med et gjennomsnittlig timeforbruk på 600 liter/time. Dette forbrukstallet finnes fra flere kilder, blant annet operatører som CemAir og nettsider som airliners.net. Vi har benyttet det for vårt utvalg av ruter, og regner om til forbruk pr. setekilometer. I likhet med for flykostnadene så har vi fått sammenlignet beregningene med Avinors planleggingsverktøy MP2 Airport (Industrial Optimizer). Dette verktøyet modellerer konsumet mer detaljert på ulike deler av flygningen. Disse to tilnærmingene gir sammenfallende resultater.

4.5 BEREGNING AV REDUSERTE UTSLIPPSKOSTNADER

Forbrukstallene fra kapittel 4.3 danner grunnlaget for utslippsberegningene. Vi lar lagt til grunn at en kg Jet A1 drivstoff gir 12 kWh når vi har sammenlignet elektrisk og konvensjonell drift. Vi har lagt til grunn at energiforbruket på en el-hybrid er 50 % av Dash 8 pr. setekilometer, og at energien som brukes er elektrisk energi.

Vi har dermed sett bort fra bruk av konvensjonelt drivstoff som rekkeviddeforlenger ved bruk av el-hybrid. Grunnen til dette er at den elektriske rekkevidden høyst sannsynlig vil kunne dekke de aller fleste strekninger i FOT-nettet. Dette kan isolert sett bidra til at vi overestimerer utslippsreduksjonene noe.

Når det gjelder produksjonen av elektrisk kraft, så har vi lagt oss på et nivå mellom EU og nordisk energimiks, som har henholdsvis ca. 70% og 90% av elektrisitetsproduksjonen fra fornybare kilder eller kjernekraft pr. i dag. Vi har dermed regnet med at 20% av elkraften produseres ved hjelp av fossil energi, mens 80 % produseres fornybart eller ved kjernekraft. Vi har ikke lagt inn noen endring i dette forholdet gjennom analyseperioden. Det kan godt være at andelen ikke-fossile kilder vil kunne øke gjennom analyseperioden. I så tilfelle bidrar dette til å underestimere utslippsreduksjonene noe.

Disse nøkkeltallene gir oss grunnlag for å beregne endring i CO₂-utslipp ved bruk av el-hybrider, der resultatene vises i kap. 5. Vi har ikke beregnet kostnader ved andre utslipp. I henhold til Wangsness m fl så påpekes det der at andre klimavirkninger kan utgjøre så mye som et 80% påslag på CO₂-kostnadene. Dette er knyttet til kondensstriper og andre utslipp, blant annet i høyere luftlag. Forfatterne påpeker påslaget er usikkert, og avhengig av blant annet flyhøyde under cruise. For kortbanerutene er flyhøyden vesentlig lavere enn for jetmaskiner over lengre distanser. Vi mener derfor at dette påslaget bør settes vesentlig lavere, men nivået er for usikkert til at vi ønsker å tallfeste det. Verdien av reduserte NO_x-utslipp kan ligge på knappe 2,5 % av verdien på reduserte CO₂-utslipp.

Alt i alt så bidrar våre verdiberegninger av CO₂ som bakkenære utslipp og uten hensyn til andre klimavirkninger til en viss grad av underestimering.

4.6 BEREGNING AV INFRASTRUKTURKOSTNADER

Nødvendig infrastruktur for å kunne betjene el-hybrider er forutsatt å bestå av framføring av elkraft til lufthavnene samt ladeinfrastruktur på lufthavnene. Vi forutsetter også at forsyning av konvensjonelt drivstoff vil finne sted gjennom analyseperioden, slik at infrastrukturen knyttet til elkraft blir en netto merkostnad. Vi forutsetter dermed at infrastrukturen til konvensjonelt

drivstoff må opprettholdes gjennom analyseperioden etter oppstart av full innfasing av el-hybrider, både grunnet hybridløsningen og beredskapsmessige hensyn knyttet til drift av andre flytyper.

Det kan selvsagt tenkes at mindre intensiv bruk av fossil forsyning vil kunne redusere drifts- og vedlikeholdskostnadene til denne infrastrukturen. Vi har ikke hatt grunnlag for å regne på endrede årlige drifts- og vedlikeholdskostnader ved noen av oppleggene for forsyning av drivstoff. Vi mener at de er av mindre betydning i en analyse på dette overordnede nivået.

4.6.1 KOSTNADER VED FRAMFØRING AV KRAFT TIL LUFTHAVN

I våre vurderinger legger vi til grunn estimerte infrastrukturkostnader, utarbeidet av THEMA Consulting på oppdrag fra Avinor. Det ble i innhentet tallgrunnlag for nødvendige nettførsterkninger for å legge til rette for elektrifisering av lufthavner. Inkludert i kapasitetsforespørselene inngikk både elbillading på publikumsområder (personbil, leiebil, drosje, buss), bakkeutstyr på lufthavn og lading av fly og eVTOL. Kostnadene ved etablering av ny eller forsterket forsyning frem til tilknytningspunkt/grensesnitt mellom nettselskap og kunde (Avinor) dekkes inn gjennom at nettselskapene krever anleggsbidrag for tiltak som utløses av at Avinor bestiller økt kapasitet eller kvalitet på forsyningen i tilknytningspunktet.

Vi legger til grunn at nettførsterkningene i distribusjonsnettet vil etableres i ett trinn pr. lufthavn. Tidspunkt for utbygging og kompleksitet vil avhenge av kapasitetsbildet i det tilgrensende distribusjonsnettet for hver lufthavn; det kan påvirkes av hvor mye ledig kapasitet det er i distribusjonsnettet; og hvor mange andre kunder som står i kø for å få tildelt kapasitet i samme område. Vi har valgt en forenklet tilnærming der vi legger til grunn at forsterkningene i distribusjonsnettet er gjennomført i 2030, og at forsterkninger/utbygging på Avinors side skjer i perioden 2030-2034.

4.6.2 KOSTNADER VED ETABLERING AV LADEPUNKTER

For kabling internt på lufthavnene (bak tilknytningspunkt) legger vi til grunn samme fordelingsnøkkel som beskrevet i foregående kapittel, der andel av kapasitet (effekt) som går til lading av fly deles på total økning i kapasitet til alle elektrifiseringsformål.

For selve ladeutstyret legger vi i våre vurderinger til grunn at alle ladeposter på 2 MW brukes utelukkende til lading av fly.

For etablering av ladeutstyr ved flyside (ladepunkter) legger vi til grunn en kostnadsfordeling der det dimensjonerende effektbehovet for lading av fly og eVTOLs legges til grunn i teller, mens den totale kapasitetsøkningen som er forspurt for å dekke alle behov settes i nevner. Vi ser foreløpig bort fra eVTOL i våre vurderinger, vi legger til grunn at eVTOL og fly vil veksle på å bruke den samme infrastrukturen og kapasiteten til lading. Inntil videre vil flyene være den eneste brukeren av infrastrukturen. Vi legger ikke til grunn forvaltnings-, drifts- og vedlikeholdskostnader i våre vurderinger. Vi legger heller ikke inn reinvesteringer i kabling eller bakkeutstyr i analyseperioden.

Vi har lagt til grunn at all infrastruktur bygges ut i perioden 2030-2034. Ladeinfrastruktur migreres på Bergen, Florø, Bodø, Røst, Svolvær og Leknes i 2030-32, og øvrige lufthavner i perioden 2030-34.

Det samtidige effektbehovet knyttet til lading av fly varierer fra 2 MW til 7,5 MW per lufthavn. Det samlede effektbehovet for alle elektrifiseringstiltakene er på mellom 2,4 og 11,5 MW. I våre

beregninger legger vi til grunn at infrastruktur som etableres i perioden 2030 – 2034 i sin helhet er tilegnet hybridfly, og tar med alle investeringskostnadene inn i de samfunnsøkonomiske analysene. Vi har lagt til grunn at betjeningen av strekningene i all hovedsak vil skje ved elektrisk drift. Grunnlaget for det er at denne driftsformen fremstår som den viktigste driveren for den teknologiske omstillingen innenfor dette segmentet, og at den elektriske rekkevidden ser ut til å kunne dekke svært mange strekninger på kortbanenettet. En lavere andel elektrisk drift vil kunne påvirke effektbehovet, men vi har ikke hatt grunnlag for å kunne nyansere dette.

Vi forutsetter innfasing av ladeinfrastruktur fra 2030-34 (5 år) fram til alt er hybrid-drevet på kortbanenettet, samt lineær innfasing, altså 20% av antallet hvert år.

5 SAMMENSTILLING AV BEREGNINGER OG KONKLUSJON

I dette kapitlet skal vi først vise virkningene for de fire rutene som vi har studert nærmere. Dernest skal vi benytte funnene herfra til å gjøre anslag på virkningene for hele FOT-nettet. Gitt bestillingen som er nevnt innledningsvis, så anser vi anslagene på diskonterte størrelser for hele FOT-nettet som det mest relevante svaret på de spørsmål som bestillingen fra NTP stiller. Vi vil derfor ikke diskontere funnene fra de enkelte rutene, men presentere de som årlige størrelser, i 2022-kr med virkning fra første antatte driftsår, 2033. Investeringskostnadene ved tiltakene på lufthavnene som betjener disse rutene, blir vist for seg. All den tid vi ikke regner med årlig trafikkvekst, så vil de årlige størrelsene gjelde gjennom hele analyseperioden. De rutevise analysene har spilt en viktig rolle i å kunne validere beregningsmodellene så langt som det har latt seg gjøre, gitt den usikkerhet som er drøftet ovenfor.

5.1 SAMMENSTILLING FOR DE RUTENE SOM ER VURDERT

Tabell 5.1 viser modellberegnete kostnader for referansealternativet (R) samt for scenario 1 og 2.

Tabell 5.1 viser at beregnede kostnader med el-hybrider ligger godt over kostnadene ved bruk av Dash 8. Dette skyldes at selv om kostnadene pr. flybevegelse er lavere, så må det flere flybevegelser til for å betjene markedet.

Kostnaden pr. setekm. er lik i scenario 1 og 2, men kostnadene pr. rute blir 8 % høyere på grunn av økt produksjon, fordi lavere billettpriser gir noe høyere etterspørsel, som beskrevet i kap. 4.2.1. Inntektene er grovt beregnet ved en gjennomsnittspris på 60% av makspris basert på tidligere analyser, som beskrevet i kapittel 4.2.1. Denne andelen kan variere mellom ruter, så den er antakelig bedre egnet til overslagsberegninger for hele nettet, enn til å gi en sikker beregning av det økonomiske resultatet på rutenivå.

Tabell 5-1 Flydrift, kostnader og inntekter, referansealternativ (R) og scenario 1 og 2 (S1 og S2)

	FRO-BGO	LKN-BOO	RET-BOO	SVJ-BOO
Referansealternativet (R)				
Beregnet flightkost (NOK)	25 376	20 462	20 200	21 236
Kost per setekm (NOK)	4,55	5,09	5,13	5,00
Kostnader per år (MNOK)	75,1	83,1	11,7	62,0
Inntekter per år (MNOK)	61,5	81,4	5,1	59,1
Resultat per år (MNOK)	-13,6	-1,7	-6,7	-2,9
Scenario 1 (S1)				
Beregnet flightkost (NOK)	21 823	17 597	17 372	18 263
Kost per setekm (NOK)	5,09	5,69	5,73	5,59
Kostnader per år (MNOK)	84,0	92,9	13,1	69,3
Inntekter per år (MNOK)	61,5	81,4	5,1	59,1
Resultat per år (MNOK)	-22,5	-11,5	-8,1	-10,2
<i>Endring kostnader S1 vs R</i>	8,9	9,8	1,4	7,3
<i>Endring inntekter S1 vs R.</i>	-	-	-	-
<i>Endring resultat S1 vs R</i>	-8,9	-9,8	-1,4	-7,3
Scenario 2 (S2)				
Kostnader per år (MNOK)	90,7	100,3	14,2	74,8
Inntekter per år (MNOK)	53,1	70,4	4,4	51,0
Resultat per år (MNOK)	-37,5	-30,0	-9,8	-23,8
<i>Endring kostnader S2 vs R</i>	15,6	17,2	2,4	12,9
<i>Endring inntekter S2 vs R</i>	-8,4	-11,1	-0,7	-8,0
<i>Endring resultat S2 vs R</i>	-24,0	-28,3	-3,1	-20,9

Tabell 5.2 viser energiforbruk i de ulike scenariene.

Tabell 5-2 Energiforbruk, referansealternativ (R) og scenario 1 og 2 (S1 og S2)

	FRO-BGO	LKN-BOO	RET-BOO	SVJ-BOO
Referansealternativet (R)				
Forbruk Jet-A1 per år (tonn)	623	626	89	476
Energiforbruk per år (MWh-ekvivalent)	7 472	7 514	1 064	5 713
Scenario 1 (S1)				
Energiforbruk per år (MWh)	3 724	3 745	530	2 847
Scenario 2 (S2)				
Energiforbruk per år (MWh)	4 099	4 052	569	3 081

Hovedforutsetningene for energibruksberegningene er vist i kap. 4.4. Vi ser en betydelig reduksjon i energiforbruket for el-hybrider, Scenario 2 ligger noe over scenario 1 på grunn av noe høyere produksjon.

Differansen i energibruk manifesterer seg også i tabell 5-3, som viser CO₂-utslippet med tilhørende kostnader for disse rutene.

Tabell 5-3 CO₂-utslipp og utslippskostnader, referansealternativ (R) og scenario 1 og 2 (S1 og S2)

	FRO-BGO	LKN-BOO	RET-BOO	SVJ-BOO
Referansealternativet (R)				
CO ₂ -utslipp per år (tonn)	1 961	1 972	279	1 500
Utslippskostnad per år (MNOK)	4,09	4,11	0,58	3,12
Scenario 1 (S1)				
CO ₂ -utslipp per år (tonn)	195	197	28	149
Utslippskostnad per år (MNOK)	0,41	0,41	0,06	0,31
Scenario 2 (S2)				
CO ₂ -utslipp per år (tonn)	250	251	36	191
Utslippskostnad per år (MNOK)	0,52	0,52	0,07	0,40

Forskjellen sammenlignet med referansealternativet er enda større fordi vi regner med at 80% av elektrisiteten er produsert ved hjelp av fornybar energi og kjernekraft (kapittel 4.5). Mellom referansealternativet og scenario 1 skiller det en faktor 10 når det gjelder utslipp og beregnede utslippskostnader.

5.2 ANSLAG PÅ SAMLEDE BEREGNED E VIRKNINGER FOR FOT-NETTET

Tabell 5-4 viser anslag på samlede virkninger for FOT-nettet for de to scenariene sett i forhold til referansealternativet. Her er anslagene på rutenivå i tabell 5-1 til 5-3 samt 9 ruter til benyttet i generaliseringen, sammen med anslåtte investeringskostnader knyttet til framføring av elkraft og ladeinfrastruktur på lufthavnene.

Tabell 5-4 Anslåtte virkninger for FOT-nettet. Scenario 1 og 2 sett i forhold til referansealternativet.

Samfunnsøkonomiske virkninger, diskonterte til 2030, i 2022-kr.	Scenario 1	Scenario 2
Trafikantnytte		
Endret konsumentoverskudd for passasjerene ved reduserte billettpriser		1703 ¹²
Klimautslipp (nytteeffekt)	718	697
Investeringskostnader		
Anleggsbidrag e-verk	-185	-185
Ladeinfrastruktur lufthavner	-972	-972
Flydriftskostnader	-1 634	-2 872
Restverdi		
Restverdi anleggsbidrag e-verk	103	103
Restverdi el-hybrid fly	175	192
Skattekostnader		
Skattekostnad, investeringer lufthavner	-231	-231
Skattekostnad på økt FOT-kjøp	-327 ¹³	-863 ¹⁴
SUM beregnede samfunnsøkonomiske effekter	-2 353	-2 478
Tilleggsinformasjon		
Inntektstap for operatør (netto av inntektsreduksjon ved redusert billettpris og inntektsøkning ved økt produksjon)/ca. årlig	0	1445/130
Beregnet endret FOT-kjøp, diskontert/ca. årlig ¹⁵	1634/150	4317/390
El-hybrid fly, kjøp, diskontert/årlig over 5 år	-576/-140	-634/-154

Netto endring i konsumentoverskudd kommer kun i scenario 2 på grunn av reduserte billettpriser og trafikkøkning, som drøftet i kap. 3.2. Dette ligger på 1,7 mrd. kr. diskontert.

Som drøftet i kap. 4.5 så kan verdien av reduserte klimagassutslipp være noe undervurdert i våre anslag, selv om det er en del forenklinger som kan trekke andre veien. Vi har blant annet ikke vurdert virkningene fra produksjon av el-hybrider. Verdien av reduserte klimagassutslipp sammenlignet med referansealternativet er lavere for scenario 2 fordi det blir produsert flere setekilometer og fordi en viss andel av elektrisitetsproduksjonen er drevet med fossilt brensel.

¹² Netto samfunnsøkonomisk effekt er usikker, fordi en fastsatt billettprisreduksjon som ikke er motivert ut fra en endring i marginalkostnader kan omfordele et produsentoverskudd til konsumentoverskudd. Dette tallet kan inneholde en fordelingsvirkning av uvisse størrelser, og må anses som et øvre estimat.

¹³ 20 % av endrede flykostnader. Inntektene er forutsatt uendret.

¹⁴ 20 % av sum økte flydriftskostnader (-2872 mill. kr) + anslått inntektstap ved billettprisreduksjon (-1,45 mrd. kr), som antas kompensert gjennom økte FOT-kjøp.

¹⁵ Årlige tall er med full drift, etter 5 år med opptrapping

Vi har beregnet årlige utslipp fra FOT-nettet til ca. 51 000 tonn CO₂ i basisalternativet. For scenario 1 er samlede årlige utslipp beregnet til ca. 5 100 tonn CO₂. For scenario 2 er utslippene beregnet til ca. 6 500 tonn CO₂. Scenario 2 gir noe høyere utslipp på grunn av større ruteproduksjon kombinert med forutsetningen om 20 % fossildrevet produksjon av elkraft (jfr. kap. 4.5).

Ladeinfrastruktur innebærer betydelige investeringer. Vi finner grunn til å si at utviklingen av elektrifiserte fly er i en tidlig fase. Beregningene av kostnader til ladeinfrastruktur må derfor betraktes som et anslag. Som nevnt i kap. 4.1. så har vi ikke regnet med restverdi på ladeinfrastrukturen, selv om noen ladere vil kunne ha noen år igjen før analyseperioden utløper. Vi regner følgelig med at denne delen av infrastrukturen må fornyes etter rundt 15 år. Vi har lagt inn en skattekostnad under forutsetning av at disse investeringene finansieres over offentlige budsjetter, og ikke via luftfartsavgifter. Dersom det siste skulle vært forutsatt finansieringsmåte, så måtte virkningene av økte avgifter blitt tatt inn i billettprisene. I neste omgang måtte tapte produsent- og konsumentoverskudd i markedet ha blitt beregnet, som følge av økningen. Vi anse det som sannsynlig, gitt politikktutformingene i andre deler av transportsektoren som har blitt elektrifisert, at offentlig finansiering er et sannsynlig utfall.

Flydriftskostnader for hele FOT-nettet er beregnet med utgangspunkt i kostnadsmodellen beskrevet i kap. 4.2. med trafikkdata for FOT-rutene i 2019. Generalisering av nytteeffekter for FOT-nettet i form av reduserte klimagassutslipp (begge scenarier) og trafikantnytte (scenario 2) er basert på beregninger fra et utvalg på 13 ruter. Beregningene fra disse 13 rutene gir en reduksjon i klimautslipp på 90 prosent i scenario 1 i forhold til referansealternativet og tilsvarende 87 prosent i scenario 2. Trafikantnytten i scenario 2 er beregnet ut fra et gjennomsnitt per passasjer som følge av redusert billettpris og økt trafikk på de 13 rutene. Kapitalkostnadene ved el-hybridfly er inkludert i modellen for flydriftskostnader, med de svakheter som er påpekt i kap. 4.2. Restverdiene av denne flyparken etter 15 år er anslått som en samfunnsøkonomisk verdi.

Restverdien er beregnet som i kap. 4.1, og omfatter infrastruktur og driftsmidler som vi regner med vil ha en verdi ved analyseperiodens utløp.

Skattekostnaden er beregnet for de investeringer og økte FOT-kjøp som vi har regnet med vil måtte bli finansiert over offentlige budsjetter. Dersom luftfarten helt eller delvis skal dekke dette gjennom gebyrer, så skal skattekostnaden reduseres proporsjonalt, men virkningene i trafikkmarkedet av høyere billettpriser blir en kostnad som i så fall må beregnes.

5.3 KONKLUSJON

En omlegging til el-hybrider framstår ikke som samfunnsøkonomisk lønnsom på relativt kort sikt, med et anslått samfunnsøkonomisk underskudd på mellom 2,3 og 2,5 mrd. kr. Usikkerhetene i anslaget er betydelig, og den er kanskje størst når det gjelder flydriftskostnader samt det økte konsumentoverskuddet ved billettprisreduksjon som er beregnet for scenario 2.

Karbonprisbanen er også usikker.

Vi har ikke gjort noe forsøk på å anslå de omstillingskostnader som erfaringsmessig kommer ved overgang til ny teknologi.

Dersom vi skulle driste oss til å anslå hvor stor verdien av reduserte klimagassutslipp måtte bli for å gi marginal lønnsomhet, alt annet like, så må verdien øke med en faktor 3 til 4. Perspektivene fram mot 2100 tilsier at utslippskostnadene vil kunne få en slik økning, basert på Finansdepartementets karbonprisbane til bruk i samfunnsøkonomiske analyser. Et nytt forskningsarbeid (Wangsness og Rosendal, 2022) har beregnet at en slik økning vil kunne komme tidligere, allerede fram mot 2050.

Men alt annet vil neppe være likt. Passasjergrunnet vil eksempelvis bli påvirket av en slik økning, med mulig reduserte flydriftskostnader som en effekt. Hvordan en slik framtidig likevekt vil kunne bli, ligger utenfor rammen av denne studien.

Flydriftskostnadene er en hovedkomponent som øker betydelig ved el-hybrider. Mye av dette skyldes økt produksjon med mindre fly som er dyrere å operere pr. sete. Her har vi gjort en svært forenklet «blåkopiering» av dagens rutenett og med dagens kapasitetsutnyttelse. Her kan det ligge et potensial for bedret tilpasning, blant annet ved å se på rutestrukturen i Finnmark, som er berørt i flere utredninger siden 2012, der den første var Draagen og Wilsberg (2012). En justering av rutetilbudet vil også kunne påvirke referansealternativet, noe som også bidrar til at effekten av dette på lønnsomheten, er uvis.

Forskjellen mellom scenario 1 og 2 kan virke liten, men den samsvarer i alle fall med Jansson (2007) som beregnet en 20 % billettprisreduksjon ved hjelp av en helt annen type modeller (transportnettverksmodellen VISUM), og som fant tilsvarende små netto samfunnsøkonomiske effekter av en billettprisreduksjon. Janssons funn samsvarer med våre på et annet punkt, nemlig at de fordelingsmessige virkningene synes å være betydelige, i favør av passasjerene.

Vi har ikke gått inn på å gi noen vurdering av hvordan en omlegging vil kunne påvirke Avinors luftfartsgebyrer, hvorvidt fiskale avgifter som flypassasjeravgiften kan være egnet som finansieringskilde for en elektrifisering, eller om en differensiering av ulike gebyrer og avgifter kan gi operatørene incentiver til å ta ny teknologi i bruk.

REFERANSER

Bråthen S, H Thune-Larsen, J Oppen, H J Svendsen, H Bremnes, K S Eriksen, B G Bergem og K P Heen (2015). Forslag til anbudsopplegg for regionale flyruter i Nord-Norge. Rapport 1509, Møreforsking AS.

Bråthen S, H Thune-Larsen, H J Svendsen, H Bremnes, K L Hoff, E Tveter, F Müller og j Aarhaug (2018). Forslag til offentlige kjøp av flyruter i Sør-Norge. Rapport 1801, Møreforsking AS.

Bråthen S, H Thune-Larsen, A G Mork og M Laingen (2021). Kjøp av flyruter på rutestrekningene i Troms og Finnmark og mot Nordland fra 1. april 2022. Rapport 2102, Møreforsking AS.

Bråthen S, K S Eriksen, H M Hjelle og M Killi (1999): Samfunnsøkonomiske analyser innen luftfart. Del 1 (veileder) og del 2 (eksempelsamling).

Draagen L og K Wilsberg (2012). Endret rutestruktur i Finnmark. Rapport, Gravity Consulting.

Finansdepartementet (2021). Rundskriv 109/21 Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser.

Industrial optimizer: Planleggingsverktøy MP2 Airport.

Janic M (2000). Air Transport System Analysis and Modelling. CRC Press.

Jansson K B (2007). Konsekvenser av større andel statlig finansiering av luftfarten i Norge. Møreforsking Molde AS, rapport 0714

Wangsness P B, I M Ydersbond, K Veisten og E Farstad (2021). Fremskyndet innfasing av elfly i Norge. Mulige samfunnsmessige konsekvenser og virkemidler. Rapport 1851/2021, TØI.

Wangsness P B og K E Rosendal (2022). Carbon prices for Cost-Benefit Analysis. Rapport 1912/2022, TØI.



MØREFORSKING AS
Postboks 5075
6021 Ålesund
Tlf. +47 70 11 16 00
www.moreforsk.no
NO 991 436 502

