



Energimyndigheten

Framtidens fossilfria luftfart

Åtgärder och stöd för luftfartens
omställning

ER 2026:04

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner
eller beställas via energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, februari, 2026

ER 2026:04

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-269-5

Grafisk form: Energimyndigheten (omslag), Arkitektkopia AB (inlaga)

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Omställningen till ett fossilfritt energisystem är avgörande för att vi ska nå ett klimatneutralt och konkurrenskraftigt samhälle. Genom utfasning av fossila energikällor och ett minskat importberoende av energi från geopolitiskt oroliga områden har vi även möjlighet att bidra till ett tryggare energisystem.

Luftfarten är en central del av det globala transportsystemet och möjliggör snabb förflyttning av människor och gods över stora avstånd. För internationell mobilitet, handel, affärsresor och turism spelar flyget en avgörande roll och är ofta det enda realistiska alternativet när tid, avstånd eller geografi begränsar andra transportslag. Luftfarten är samtidigt tekniskt avancerad och präglas av hög specialisering – från stora interkontinentala flygplan till regionalflyg, helikoptrar och specialiserade luftfartyg för samhällsviktiga uppdrag. Luftfarten domineras fortfarande nästan helt av fossila bränslen, och flygets klimatpåverkan är stor, inte minst genom höghöjdseffekter som fördubblar utsläppens uppvärmande effekt. I takt med att det globala resandet fortsätter att öka, ökar också både luftfartens betydelse och dess klimatavtryck, vilket gör omställningen till en av de mest utmanande och strategiskt viktiga frågorna för framtidens transportsystem.

En robust, konkurrenskraftig och fossilfri luftfart är ett fundament i det framtida samhället. För att uppnå detta och för att driva på omställningen är det viktigt att det sker en utökad produktion av hållbara flygbränslen, skärpt och breddad internationell styrning samt att utbyggnaden av infrastruktur samordnas nationellt.

Energimyndigheten har genomfört uppdraget i samarbete med Trafikanalys, som har bidragit i löpande diskussioner under arbetets utförande samt med underlag om luftfart. Trafikanalys har även lämnat synpunkter på utkast till förslag på stöd.

Under uppdragets gång har också en mängd aktörer från näringsliv, akademi, branschorganisationer och andra myndigheter deltagit i intervjuer och dialogmöten samt lämnat skriftliga inspel till uppdraget. Jag vill tacka alla er som engagerat sig i arbetet för era viktiga bidrag.

Caroline Asserup

Generaldirektör

Innehåll

Sammanfattning & slutsatser	6
1 Inledning	11
2 Luftfartens utsläpp	15
3 Luftfartens aktörer och dagens luftfart	21
4 Befintlig styrning	28
5 Analys av den befintliga styrningens effekter	36
6 En samhällsekonomiskt effektiv styrning av luftfarten	42
7 Användning och produktion av hållbara flygbränslen	52
8 Tekniker i framtidens luftfart	60
9 Infrastruktur för framtidens luftfart	74
10 Forskning och innovation	79
11 Omställningen av försvarets luftfart	83
12 Referenser	86
Bilaga 1: Beskrivning av CORSIA	96
Bilaga 2: Beskrivning av ReFuelEU Aviation	102
Bilaga 3: Motiv för styrning	106
Bilaga 4: Enkätstudie om luftfartens omställning till fossilfrihet	109

Sammanfattning & slutsatser

Energimyndigheten har haft i uppdrag att analysera behovet av stöd för att påskynda sjöfartens och luftfartens omställning till fossilfrihet samt att föreslå hur sådana stöd bör utformas. Uppdraget har omfattat bland annat stöd för marknadsintroduktion av el- och vätgasflyg, luftfartens behov av hållbara flygbränslen samt forskning och innovation för fossilfritt flyg. Arbetet har tagit hänsyn till olika aktörers behov, teknikernas mognadsgrad, EU-lagstiftning och statsstödsregler, samt befintliga styrmedel och finansieringsmöjligheter. Det har även ingått i uppdraget att, vid behov, lämna förslag även om stöd till ladd- och tankinfrastruktur på flygplatser och andra landningsplatser. Uppdraget har genomförts i samarbete med Trafikanalys. Denna rapport fokuserar på luftfartens omställning, medan sjöfartens omställning redovisas separat i *Styrmedel för en fossilfri sjöfart – Åtgärder och stöd för sjöfartens omställning* (Energimyndigheten, 2026).

Styrningen kring luftfartens omställning har skärpts men är fortfarande otillräcklig

Luftfarten står inför en snabbt skärpt reglering, där EU:s utsläppshandelssystem (ETS1) (Direktiv 2003/87/EG), ReFuelEU Aviation (Förordning 2023/2405) och internationella luftfartsorganisationens (ICAO) styrmedel CORSIA tillsammans skapar ett betydligt starkare omställningstryck än tidigare. Kraven på användning av hållbara flygbränslen ökar snabbt och utsläppsrätter förväntas bli successivt dyrare. Dessa styrmedel ger starka incitament för flygbolag och flygplatser att ställa om för att fortsätta vara konkurrenskraftiga.

Samtidigt finns en tydlig klyfta mellan vad regelverken faktiskt åstadkommer och vad som krävs för att nå nettonollutsläpp till 2050. ReFuelEU Aviation fungerar främst som ett minimikrav snarare än en motor för att nå nettonollutsläpp, CORSIA har låg ambitionsnivå och fångar inte den verkliga klimatpåverkan, och dagens styrning omfattar inte alla utsläppstyper eller all trafik. EU:s utsläppshandelssystem är den mest avgörande drivkraften, och omställningen till fossilfrihet blir beroende av ett tillräckligt högt och stabilt koldioxidpris. Detta innebär att även om styrningen aldrig varit skarpare, är den fortfarande i viss mån otillräcklig för att driva fram de investeringar, tekniskprång och beteendeförändringar som krävs.

Det är viktigt att också säkerställa att de grundläggande förutsättningarna finns för att i praktiken nå de krav som ställs. Det behöver finnas långsiktiga mål för den framtida utvecklingen och en politisk uthållighet kring dessa mål. Idag finns en osäkerhet i branschen kring långsiktigheten i såväl nationell som EU:s klimat- och energipolitik vilket gör investerare osäkra. Detta kan ytterligare motivera behovet av incitament på

nationell nivå för att skapa en ökad efterfrågan och snabba på omställningen till fossilfrihet.

Hållbara flygbränslen är helt avgörande på kort sikt men kräver kraftfull uppskalning

Hållbara flygbränslen (SAF) är mycket viktiga för att minska luftfartens utsläpp i stor skala före 2040, då de kan användas direkt i dagens flygplansflotta och infrastruktur utan att vänta på nya generationer av flygplan. Trots att SAF är avgörande för omställningen till fossilfrihet på kort och medellång sikt, finns idag endast en bråkdel av den volym bränsle som ReFuelEU Aviation och långsiktiga klimatmål kräver och osäkerheter finns som gör att produktionen inte dragit i gång i någon större skala. Produktionen ligger långt under behovet och har svårt att växa i den takt som ReFuelEU Aviation och andra styrmedel kräver. De tekniska lösningarna finns men marknaden hämmas av höga kostnader, konkurrens om råvaror och en investeringsrisk som enskilda aktörer inte kan bära. På grund av den höga kostnaden för SAF finns också en diskrepans mellan den risk flygbolag respektive producenter är villiga att ta. Utan tydliga politiska åtaganden och satsningar på produktion, långsiktiga avtal och riskdelning riskerar Sverige att både få svårt att nå de krav ställs och hamna i ett växande importberoende av bränslen som är avgörande för luftfartens omställning till fossilfrihet.

Stöd till användning skapar efterfrågan men det är framför allt produktionen som behöver främjas

Stöd till användning av hållbara flygbränslen skulle på kort sikt kunna öka efterfrågan och göra det ekonomiskt möjligt för flygbolag att börja blanda in mer SAF genom att minska det stora kostnadsgapet gentemot fossilt flygbränsle. Sådana stöd kan också ge viktiga marknadssignaler och bidra till att hållbara flygbränslen börjar användas mer brett och därigenom också främja en ökad produktion. Luftfarten är dock styrd av komplexa regelverk och det är också svårt att utforma och implementera styrmedel för ökad användning av SAF som bidrar till ytterligare additionalitet. Stöd till användning kan vara ett komplement för att stimulera efterfrågan, men Energimyndighetens bedömning är att den avgörande klimatnyttan och systemeffekten kommer från stöd till produktion av SAF eftersom det är där den centrala flaskhalsen i omställningen till fossilfrihet finns. Den största begränsningen i luftfartens omställning är inte viljan att använda hållbara flygbränslen, utan den mycket begränsade produktionen, som också bidrar till de höga priserna.

Detta uppdrag har varit avgränsat till användarsidan och inte hur produktion av bränslen kan stödjas, även om det kan finnas sådan indirekt effekt av olika förslag. Med tanke på den brist på produktion som finns idag och det stora kostnadsgapet mellan fossila och fossilfria bränslen behövs dock sannolikt någon form av stöd för att

säkerställa att fossilfria bränslen faktiskt finns tillgängliga för att möta de krav som ställs. Ett sådant stöd skulle också kunna utformas för att främja såväl användning som produktion. Djupare analys och förslag på utformning lämnas inte i detta uppdrag då det hanteras i en separat utredning där utredaren ska analysera och föreslå hur tillgången till hållbara, fossilfria och koldioxidsnåla drivmedel för sjöfarten och luftfarten i Sverige kan främjas (Landsbyggs- och infrastrukturdepartementet, 2025a).

El- och vätgasflyg har stor långsiktig potential men låg mognadsgrad

El- och vätgasflyg kan på sikt minska luftfartens klimatpåverkan och bidra med andra nyttor såsom ökad tillgänglighet men tekniken befinner sig fortfarande i ett tidigt utvecklingsskede och kommer inte att kunna bidra i större skala under de närmaste decennierna. Batteriers låga energitäthet, höga vikt och korta räckvidd begränsar elflygets användning till små flygplan och korta sträckor. Elflyg kan skapa nya möjligheter för att minska utsläpp och öka tillgängligheten på kortare sträckor, men den potentialen finns först på längre sikt.

Vätgasflyg har större möjligheter att bidra till att minska utsläppen från exempelvis långväga flygningar, men vätgasflygets två huvudspår (förbränning i jetmotorer och eldrift via bränsleceller) kräver omfattande tekniska genombrott, en helt ny generation av flygplan samt stora investeringar i infrastruktur för produktion, lagring och distribution av vätgas. Demonstrationsflygningar pågår, men kommersiell användning i större skala bedöms ligga bortom 2040. Detta innebär att de inte har potential att minska utsläppen på kort eller medellång sikt.

El- och vätgasflyg är viktiga för den långsiktiga omställningen till fossilfrihet, men de kan inte ersätta dagens fossila bränslen i närtid, vilket förstärker behovet av att samtidigt skala upp användning och produktion av hållbara flygbränslen under övergångsperioden. Energimyndigheten har tidigare utrett ett förslag om en klimatpremie för el- och vätgasflyg och det kan fortsatt vara ett relevant förslag. Bedömningen är dock att en sådan premie inte är mogen för implementering innan 2030 om syftet är att bidra till att minska luftfartens utsläpp.

En skärpt och breddad internationell styrning kan påskynda omställningen

Den internationella styrningen är avgörande för luftfartens omställning till fossilfrihet då majoriteten av utsläppen sker i utrikestrafiken och därför hanteras mest effektivt genom globala och europeiska regelverk. Enbart nationella åtgärder riskerar att få begränsad effekt på utsläppen och leda till konkurrenssnedvridning. En tydlig och långsiktig styrning är också viktig för att skapa förtroende hos aktörerna så att de vågar investera i omställningen.

Koldioxidpriset är idag den starkaste drivkraften för att fasa ut fossilt flygbränsle. Om inte konsekvensanalyser säger något annat bör Sverige verka för att ETS1 ska inkludera även flygningar utanför Europeiska ekonomiska samarbetsområdet (EES).

Flygets höghöjdseffekter är numera föremål för övervakning och rapportering men däremot inte prissättning inom systemet. Detta ses över av EU-kommissionen i den pågående översynen av ETS1. Sverige bör verka för att höghöjdseffekter ska ingå i ETS1, om inte konsekvensanalyser visar något annat. Utsläpp som varken prissätts genom utsläppshandelssystemet eller koldioxidbeskattning bör idealiskt sett också fångas upp inom något av dessa styrmedel framöver. Att hitta den rätta skärningen i styrningen som undviker såväl luckor som överlapp är dock svårt. De administrativa utmaningarna ska ställas mot att utsläppen från den luftfart som inte alls prissätts är relativt små. Dessa kan i stället styras mer direkt av staten om det bedöms mer lämpligt.

Utbyggnad av flygplatsinfrastruktur är en flaskhals i omställningen

Flygplatserna är den plats där omställningen till fossilfritt flyg faktiskt måste ske men där möter omställningen några av sina största praktiska hinder. Nästan alla flygplatser saknar idag den infrastruktur som krävs för införande av el- och vätgasflyg. Investeringarna som behövs är omfattande, samtidigt som ansvarsfördelningen mellan olika aktörer inte är helt tydlig. Även frågor kring vilka behov och åtgärder som krävs för att möjliggöra storskalig distribution av hållbara flygbränslen kan behöva utredas närmare.

Med ny typ av infrastruktur dyker frågor upp kring vem som ska äga och finansiera den infrastruktur som måste byggas. Regionala flygplatser, som ofta redan är ekonomiskt pressade, saknar i regel resurser för att bygga laddinfrastruktur, förstärka elnätet eller hantera framtida vätgaslogistik. Osäkerheter kring teknikval, standarder och effektbehov gör dessutom investeringarna riskfyllda och lägger ytterligare hinder i vägen. Eftersom både avrese- och destinationsflygplatser måste vara redo samtidigt, kräver omställningen till fossilfrihet koordinering och sannolikt så småningom riktade stöd. Utan strategiska satsningar riskerar flygplatsinfrastrukturen att bli en begränsande faktor som bromsar luftfartens omställning till fossilfrihet. Bedömningen är dock att även eventuellt riktat stöd för utbyggnad av ladd- och vätgasinfrastruktur bör införas först närmare 2030 om syftet är att bidra till att minska luftfartens utsläpp.

Flygplatserna saknar idag i många fall kapacitet att bygga ut infrastruktur för framtidens fossilfria luftfart själva och flygplatsinfrastrukturen riskerar att bli en begränsande faktor som bromsar luftfartens omställning till fossilfrihet. Eftersom den nya infrastrukturen för el- och vätgasflyg är komplex och omfattar många nya faktorer att ta hänsyn till, samtidigt som teknikutvecklingen är pågående behövs ett samlat grepp och ansvar för att implementeringen av den fossilfria luftfarten ska kunna ske koordinerat och effektivt. Energimyndigheten föreslår därför att en lämplig myndighet får ett uppdrag som nationell samordnare för utbyggnaden av infrastruktur för framtidens fossilfria luftfart.

En ökad satsning på forskning, innovation och demonstration behövs

För att elflyg, vätgasflyg, avancerad produktion av hållbara flygbränslen och energieffektivare flygplanskoncept ska nå marknaden behövs betydligt större, mer samordnade och långsiktiga forsknings- och innovationsinsatser. Det behövs mer forskning och innovation om hållbara förnybara bränslen som kan användas i befintliga flygplan, utvecklingen av elflygplan och flygplan med vätgasdrift, samt inom olika typer av systemrelaterade frågor. I och med att dessa nya tekniker och värdekedjor är under utveckling behövs fortsatt stöd.

Stöd för forskning och innovation är viktigt men idag splittrat på flera myndigheter. Idag är de forskningsmedel som finns för att finansiera satsningar på luftfartsområdet också små och en förstärkning på området behövs. En samlad satsning för forskning och innovation liknande programmet *Fossilfritt flyg 2045* som Energimyndigheten ledde för några år sedan bör återinföras. Detta är något Energimyndigheten även lyft i tidigare inspel till energiforskningspropositionen (Energimyndigheten, 2023a).

Försvaret kan spela en viktig roll i omställningen

Försvaret har en unik och strategiskt viktig roll i omställningen av luftfarten, dels på grund av höga utsläpp, dels på grund av den beredskaps- och försörjningstrygghetsnytta som kan uppstå när militära behov samordnas med omställningen till fossilfrihet i stort. Försvaret har en stor potential att bidra till luftfartens omställning genom sin stora och stabila efterfrågan på flygbränsle som på sikt skulle kunna ersättas med hållbara flygbränslen och därmed också skapa förutsättningar för en ökad produktion av SAF. Ett minskat fossilberoende och ökad inhemsk produktion stärker också Sveriges beredskap då importberoende av fossila bränslen är en risk både i fredstid och vid kris. En ökad användning av hållbara flygbränslen i försvarets verksamhet kan därför både öka robustheten i energiförsörjningen och fungera som en tidig och stabil efterfrågan som gör det möjligt att bygga upp svenska produktionskedjor.

1 Inledning

Energimyndigheten har haft i uppdrag att analysera behovet av stöd för att påskynda sjöfartens och luftfartens omställning till fossilfrihet samt att föreslå hur sådana stöd bör utformas. Uppdraget har omfattat bland annat stöd för marknadsintroduktion av el- och vätgasflyg, luftfartens behov av hållbara flygbränslen samt forskning och innovation för fossilfritt flyg. Arbetet har tagit hänsyn till olika aktörers behov, teknikernas mognadsgrad, EU-lagstiftning och statsstödsregler, samt befintliga styrmedel. Det har även ingått i uppdraget att, vid behov, lämna förslag även om stöd till ladd- och tankinfrastruktur på flygplatser och andra landningsplatser. Uppdraget har genomförts i samarbete med Trafikanalys. Denna rapport fokuserar på luftfartens omställning, medan sjöfartens omställning redovisas separat i *Styrmedel för en fossilfri sjöfart – Åtgärder och stöd för sjöfartens omställning* (Energimyndigheten, 2026).

1.1 Uppdraget

Regeringen gav den 16 januari 2025 Energimyndigheten i uppdrag att analysera behovet av stöd för att främja sjöfartens och luftfartens omställning till fossilfrihet och föreslå hur sådana stöd kan utformas, i syfte att på ett effektivt sätt påskynda omställningen av transportsektorn från fossila bränslen. I uppdraget ingår att

- Analysera behovet av stöd för att främja sjöfartens och luftfartens omställning till fossilfrihet,
- föreslå utformning av stöd för att främja sjöfartens användning av fossilfria energibärare, inklusive konvertering av fartyg till alternativa drivlinor,
- analysera förutsättningar för och föreslå utformning av stöd för en marknadsintroduktion av flyg som helt eller delvis drivs med el,

och lämna nödvändiga författningsförslag. När det gäller luftfarten ska uppdraget inkludera en analys av hur forskning och innovation om fossilfritt flyg kan stödjas. I uppdraget ingår även att analysera om stöd till luftfartssektorn bör inkludera luftfartyg med vätgasdrift.

Energimyndigheten ska beakta de varierande behov av lösningar som aktörerna inom sjö- och luftfarten har samt lösningarnas varierande mognadsgrad. Stödet eller stöden ska beakta relevant EU-lagstiftning och existerande EU-styrmedel, inklusive tillgänglig finansiering för sjöfartens och luftfartens omställning. Energimyndighetens förslag ska också ta hänsyn till uppdaterade statsstödsregler.

Om det bedöms lämpligt ska Energimyndigheten i uppdraget lämna förslag på utformning av stöd för utbyggnad av nödvändig ladd- och tankinfrastruktur i hamnar och på kajer samt på flygplatser eller andra landningsplatser. Denna bedömning ska göras med beaktande av Energimyndighetens *uppdrag om effektivare stöd för laddinfrastruktur* (Klimat- och näringslivsdepartementet, 2024).

Vid genomförandet av uppdraget ska också slutsatserna från Energimyndighetens rapport *Utformning av klimatpremie för elflygplan* (Energimyndigheten, 2023b) beaktas.

1.2 Bakgrund till uppdraget

Bakgrunden formuleras i uppdraget enligt följande. I *Regeringens klimathandlingsplan – hela vägen till nettonoll* (Skr. 2023/24:59) bedömer regeringen att utsläppen av växthusgaser från inrikes transporter behöver vara i princip noll senast 2045 för att Sverige ska kunna nå det långsiktiga klimatmålet.

Regeringen bedömer i klimathandlingsplanen att förutsättningar behöver skapas för en marknadsintroduktion av elflyg i Sverige. Om det är eldrift eller andra typer av lösningar som är bäst lämpade kommer att variera för olika typer av luftfartyg och sträckor. För att effektivt påskynda luftfartens omställning finns det behov av insatser för att stödja olika typer av fossilfria lösningar.

1.3 Samverkan

Energimyndigheten har genomfört uppdraget i samarbete med Trafikanalys utifrån myndighetens expertis om transportsektorns elektrifiering samt utifrån myndighetens ansvarsområde att analysera föreslagna åtgärder inom transportpolitiken. Trafikanalys har bidragit i löpande diskussioner under arbetets utförande samt med underlag om luftfart. Trafikanalys har även lämnat synpunkter på utkast till förslag på stöd.

Energimyndigheten har också inhämtat synpunkter och underlag från Trafikverket, Transportstyrelsen, Naturvårdsverket, Verket för innovationssystem samt Statens väg- och transportforskningsinstitut. Detta har skett genom avstämningar med respektive myndigheter samt att myndigheterna getts möjlighet att lämna synpunkter på preliminära slutsatser och förslag.

En väsentlig del av regeringsuppdraget har bestått av samverkan. Energimyndigheten har under uppdragets gång löpande samverkat med branschen, bland annat genom att presentera uppdraget i olika sammanhang samt genom bilaterala möten. Under våren och sommaren 2025 begärde Energimyndigheten också in skriftliga inspel och synpunkter från berörda aktörer (Energimyndigheten, 2025a). Energimyndigheten ville i inspelen få svar på några specifika frågor och dessa var:

- Vilka är de främsta hindren för att sjöfarten och/eller luftfarten ska kunna ställa om till fossilfrihet, och vad beror dessa på?
- Hur långt når vi med nuvarande styrmedel?
- Vilka förändringar i befintliga regelverk eller styrmedel är nödvändiga för att påskynda omställningen?
- Finns det behov av stöd för att främja omställningen och hur bör dessa utformas? Var finns störst behov?
- Hur kan forskning och innovation på området främjas? Behövs några förändringar i nuvarande stöd till forskning och innovation?

I december 2025 hölls ett webinarium där preliminära slutsatser och förslag presenterades och det fanns möjlighet att ställa frågor, intresset från branschen var stort.

Inom uppdraget har även en enkätstudie genomförts för att samla in synpunkter från flygplatser kring luftfartens omställning till fossilfrihet. Resultat från enkätstudien redovisas i kapitel 9 samt mer utförligt i Bilaga 3.

1.4 Metod och analysstruktur

Arbete i uppdraget skedde i två olika delar som delvis har överlappat varandra. Först genomfördes en behovsanalys i enlighet med punkt 1 i uppdraget under vår och tidig höst 2025 och sedan togs förslag fram och utformades under hösten 2025.

1.4.1 Behovsanalys

Luftfartens (och andra trafikslags utsläpp) av växthusgaser beror på tre faktorer. De handlar om trafikarbetets¹ storlek, farkosternas energieffektivitet och fossila utsläpp per energienhet². En nulägesbeskrivning genomfördes för att ringa in hur utsläppen ser ut idag samt hur transportmönstret ser ut och hur mycket som transporteras. Hänsyn togs bland annat till vilken teknik som används, var och i vilken utsträckning och hur tillgången på ny teknik ser ut. Hänsyn har också tagits till vilka bränslen som används, av vad och i vilken utsträckning samt hur tillgängliga de hållbara bränslena är.

En beskrivning och analys av nuvarande styrmedels påverkan på utsläppen genomfördes också i detta skede. Detta inkluderade en analys av scenarier för framtida utveckling. Hänsyn togs i behovsanalysen också till olika tidigare identifierade hinder för luftfartens omställning till fossilfrihet. Utifrån den information som samlades in och den behovsanalys som gjordes i inledningen av uppdraget gjordes sedan en bedömning av de samhällsekonomiska motiven för styrning samt vilka behov av förändrad styrning som finns.

1.4.2 Förslagsutformning

En genomgång och enklare bedömning av samtliga förslag som kommit in genom skriftliga inspel genomfördes, tillsammans med förslag som identifierats av arbetsgruppen eller i tidigare utredningar. En prioritering av vilka förslag som togs vidare i analysen gjordes i denna del. Prioriteringen baserades på den analys kring behoven som framkommit i behovsanalysen. De förslag som presenteras i denna rapport innefattar inte samtliga potentiella åtgärder som kan ha effekt på utsläppen utan fokus har legat på att ta fram de förslag som kan ha potentiellt störst effekt. Vid prioriteringen gjordes en övergripande bedömning kring vilket behov förslaget täcker, tidsram, mognadsgrad (teknik, marknad), potentiell effekt på växthusgasutsläpp, juridiska förutsättningar, teknikneutralitet, budgetkonsekvenser och övriga effekter.

Vid utformning och prioritering av förslag har mer vikt lagts på stöd, även om behov av andra styrmedel eller åtgärder också lyfts som förslag där det anses lämpligt. I begreppet stöd har såväl direkta som indirekta stöd inkluderats. Utredningen har varit avgränsad att lämna förslag på skatteområdet.

¹ Trafikarbete mäts i avstånd (km).

² Trafikarbetets storlek påverkas bland annat av marknadsförutsättningar och hur konkurrenssituationen ser ut, medan flygplanets/farkostens energieffektivitet beror av teknikutveckling, mognadsgrad och tillgången på ny teknik. Användningen av hållbara bränslen påverkas av produktionen, som i sin tur beror av efterfrågan.

1.5 Avgränsningar

I och med att luftfarten är en internationell bransch har uppdraget tagit sin utgångspunkt i de europeiska klimatmålen. I analysen kring behovet att snabba på omställningen till fossilfrihet har grunden därför varit EU:s mål om nettonollutsläpp 2050 (klimatneutralitetsmålet), men en viktig utgångspunkt har också varit om det finns ett behov att snabba på omställningen för att överhuvudtaget nå de krav som ställs genom EU-styrning. Ingen avgränsning har gjorts mellan inrikes och utrikes luftfart.

Uppdraget har sitt ursprung i *Regeringens klimathandlingsplan – hela vägen till nettonoll* (Skr. 2023/24:59) där fokus låg på introduktion av elflyg. Uppdraget har dock breddats jämfört med de skrivningar som finns i klimathandlingsplanen och utgångspunkten i uppdraget har varit bredare än så och teknikneutralt. Det vill säga att analysera behovet av stöd för luftfartens omställning till fossilfrihet i stort. Ingen direkt avgränsning har gjorts mellan flyg och övrig luftfart, men i och med att flyget är den stora utsläppskällan har uppdraget naturligt haft ett större fokus på denna del av luftfarten.

Uppdraget handlar om omställningen bort från fossila bränslen och inte minskning av växthusgasutsläpp i stort och detta har därmed varit huvudsakligt fokus för analys och förslag. Även andra sätt att minska utsläpp såsom energieffektiviseringsåtgärder, trafikledning och ruttoptimering nämns dock i rapporten i viss utsträckning.

Detta uppdrag har varit avgränsat till användarsidan och inte hur produktion av bränslen kan stödjas, även om det kan finnas sådan indirekt effekt av olika förslag. I behovsanalysen har dock behovet av ett eventuellt stöd för produktion analyserats. Djupare analys och förslag på utformning lämnas inte i detta uppdrag då det hanteras i en separat utredning där utredaren ska analysera och föreslå hur tillgången till hållbara, fossilfria och koldioxidsnåla drivmedel för sjöfarten och luftfarten i Sverige kan främjas (Landsbygds- och infrastrukturdepartementet, 2025a).

2 Luftfartens utsläpp

Det här kapitlet beskriver vilka faktorer som påverkar luftfartens utsläpp och ger en samlad bild av klimatpåverkan från svensk inrikes och utrikes flygtrafik. Syftet är att tydliggöra utsläppens omfattning och komplexitet, samt att underbygga behovet av en snabbare omställning med insatser som tar hänsyn till hela kedjan av klimatpåverkan.

Vad påverkar en flygnings utsläpp?

Det är många olika faktorer som påverkar hur mycket som släpps ut vid en flygning. Transportstyrelsen listar följande faktorer som påverkar flygningens utsläpp (Transportstyrelsen, 2025a):

- vilken flygplanstyp och vilka motorer som använts
- flygplanets startvikt
- hur piloten framför flygplanet
- längden på flygsträckan
- den tid flygplanet rullar på marken innan start och efter landning
- vilken höjd flygningen sker på
- vind, temperatur, lufttryck och andra atmosfäriska förhållanden
- om flygningen sker på natten eller dagen
- om flygningen sker på norra eller södra halvklotet
- väntetider i luften innan landning
- val av flygvägar

Förbränningen av ett kilo fossilt flygbränsle leder till utsläpp av 3,16 kg koldioxid (ICAO, 2025a).

År 2024 uppgick de totala utsläppen från flygsektorn i Naturvårdsverkets statistik till drygt två miljoner ton koldioxidekvivalenter, varav cirka 13 procent kom från inrikesflyg och resterande 87 procent från utrikesresor. Detta beror framför allt på att utrikesresandet är betydligt större än inrikesresandet, vilket beskrivs närmare i avsnitt 2.3.

Det bör samtidigt noteras att utsläppen per personkilometer³ är högre för inrikesflyg än för utrikesflyg. Den mest energikrävande delen av en flygning är starten, vilket också leder till de högsta utsläppen (Kamb & Larsson, 2019). Eftersom dessa utsläpp fördelas över en kortare sträcka vid inrikesflygningar, som generellt är kortare, blir utsläppen per personkilometer högre.

³ Ett mått på transportarbete som motsvarar att en person transporteras en kilometer.

2.1 Luftfarten i en global kontext

Globalt beräknas flyget stå för cirka 2,5 procent av koldioxidutsläppen (EASA, 2025a). Därutöver tillkommer luftfartens höghöjdseffekter (se avsnitt 2.4), som bidrar till ytterligare klimatpåverkan.

I Europa uppskattas flygets andel till cirka fyra procent av de totala växthusgasutsläppen och cirka tolv procent av transportsektorns utsläpp (EASA, 2025a). Flygtrafiken består huvudsakligen av olika typer av passagerartrafik och Eurocontrols⁴ statistik pekar på att flygtrafiken i Europa är relativt koncentrerad, där upp emot 80 procent av de ankommande och avgående flygen (siffra som visar dagligt medelvärde) 2024 skedde inom Europa (Eurocontrol, 2025). Statistik från Eurostat visar att ungefär hälften av den luftburna passagerartransporten i EU 2023 utgjordes av resor mellan två EU-länder och nationella resor (inom ett EU-land) (Eurostat, 2025).

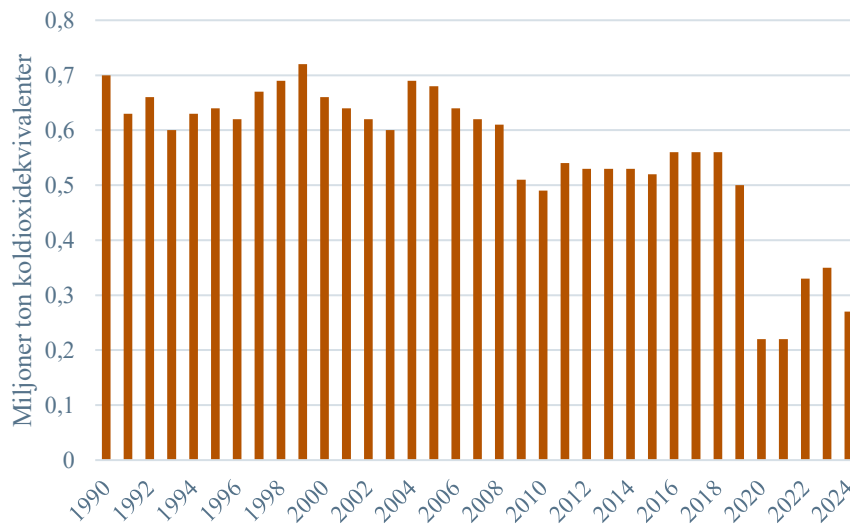
Enligt ICAO kan flygets utsläpp komma att tredubblas till 2050 jämfört med 2015, givet dagens teknik och bränsleanvändning och om inga åtgärder vidtas. Flygets roll inom transportsektorn och dess utsläpp förväntas öka i takt med att den globala levnadsstandarden förbättras och fler människor får möjlighet att flyga samt flyga längre och oftare. ICAO bedömer att flygresandet, mätt i personkilometer kommer att öka med drygt tre procent i genomsnitt per år fram till 2070 (ICAO, 2025a). Antalet passagerare per år förväntas öka från knappt fem miljarder 2024 till drygt tolv miljarder 2050 (ICAO, 2024).

För att motverka de ökade utsläpp som följer av flygets förväntade tillväxt har ICAO antagit en målsättning om nettonollutsläpp från den internationella civila luftfarten till 2050 (se avsnitt 4.3.1). En stor del av utsläppsminskningarna är möjliga genom teknisk utveckling och förbättringar, en betydande del genom användning av olika typer av hållbara flygbränslen samt en mindre del genom effektivare flygtrafikledning (ATM) och utvecklad infrastruktur (ICAO, 2025a). Även enligt IATA:s färdplaner för att nå nettonollutsläpp till 2050 kommer den största minskningen av växthusgasutsläpp vara möjlig genom införandet av hållbara flygbränslen (SAF) (IATA, 2024a). Mer om hållbara flygbränslen finns att läsa i kapitel 7 och andra tekniker för framtidens luftfart diskuteras i kapitel 8.

2.2 Inrikes luftfart

Enligt Naturvårdsverkets statistik uppgick utsläppen från inrikesflyg till cirka 0,3 miljoner ton koldioxidekvivalenter 2024, se Figur 1. Utsläppen från inrikes flyg minskade under 2024 jämfört med 2023 på grund av minskat resande. Utsläppen minskade kraftigt under pandemin och ligger fortfarande ungefär 46 procent lägre än utsläppen från år 2019, före pandemin. Statistiken baseras på den bränsleanvändning och tankning som skett i Sverige för transporter inom landet.

⁴ Eurocontrol omfattar 42 medlemsländer i eller i nära anslutning till Europa.



Figur 1 Utsläpp av växthusgaser från inrikes flyg 1990–2024, miljoner ton koldioxidekvivalenter.

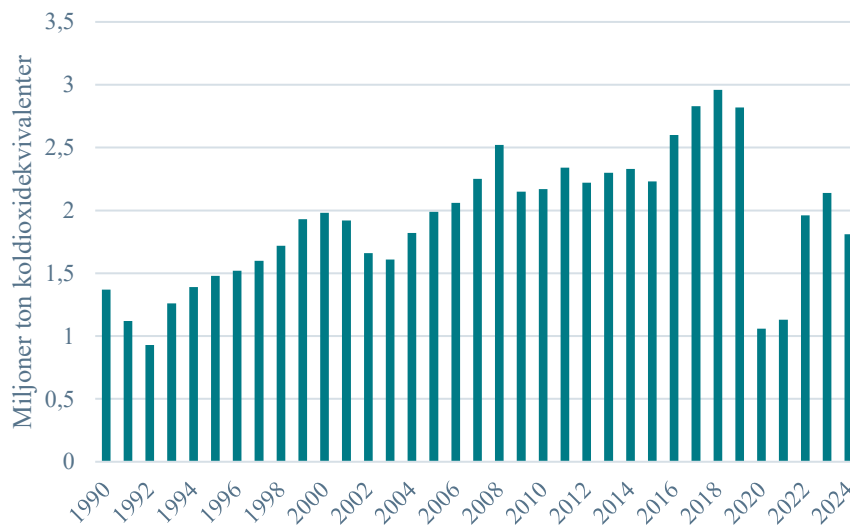
Anm: Utsläppsförändringen mellan 2023 och 2024 ska tolkas med viss försiktighet eftersom indataproblem medfört att utsläppen 2023 uppskattats med en annan metod.

Källa: (Naturvårdsverket, 2025a)

Inom inrikesflyget står staten för en viss del genom det flyglinjer som har allmän trafikplikt, men denna trafik står för en relativt liten del av de inrikes utsläppen från flyg. Upphandlad och offentlig luftfart lyfts i avsnitt 7.6.2.

2.3 Utrikes luftfart

Naturvårdsverkets statistik visar att utsläppen för utrikesflyget var cirka 1,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter 2024, se Figur 2. Det är cirka 36 procent lägre än utsläppen från 2019, innan pandemin. Jämfört med 1990 var utsläppen 32 procent högre.



Figur 2 Utsläpp av växthusgaser från utrikes transporter 1990–2023, miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Anm: Skillnaden mellan 2023 och 2024 ska tolkas med viss försiktighet eftersom problem med indata 2023 medfört att en annan metod använts för att beräkna utsläppen.

Källa: (Naturvårdsverket, 2025b)

Utsläppsberäkningar för utrikesflyg baseras på den mängd bränsle som tankas i Sverige, vilket innebär att beräkningarna inte inkluderar hela flygresans längd eller tankningar som sker utanför landet men ändå kan kopplas till den svenska flygtrafiken. För att uppskatta svenskarnas totala klimatpåverkan från flygresor krävs därför även data om resvanor och antal flygresor.

Chalmers genomförde 2018/2019, på uppdrag av Naturvårdsverket, en studie för att analysera svenskarnas utsläpp från flygresor sett till hela resan till slutdestinationen (Kamb & Larsson, 2019). Utan uppräknings för höghöjdseffekter uppskattades utsläppen från svenskarnas utrikesflygresor till cirka 4,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter 2017, baserat på hela resan från start till slutdestination. Som jämförelse uppgick utsläppen i Naturvårdsverkets statistik till cirka 2,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter 2017.

2.4 Höghöjdseffekter

Höghöjdseffekter, även kallade icke-koldioxidutsläpp eller effekter, är klimatteffekter som uppstår utöver koldioxidutsläpp från luftfarten. De spelar en viktig roll eftersom utsläpp på hög höjd kan ge större påverkan än utsläpp av samma ämnen vid marknivå. Sammantaget bidrar dessa utsläpp med en uppvärmande effekt men effekterna är komplexa och mindre kartlagda än koldioxidens påverkan och beror på faktorer som flyghöjd, luftfuktighet och temperatur i atmosfären. De två icke-koldioxidrelaterade effekterna som pekas ut ha störst klimatpåverkan är bildning av kondensstrimmor och utsläppen av kväveoxider (ICAO, 2025b).

Allra störst klimatpåverkan har kondensstrimmor (Johansson, o.a., 2025).

Kondensstrimmor är linjära ismoln som bildas bland annat från utsläppen av

vattenånga och partiklar vid förbränningen av bränsle. Under kalla och isövermättade⁵ förhållanden kan strimmorna bli långlivade och utvecklas till större molnstrukturer som liknar naturliga cirrusmoln. Dessa moln påverkar jordens strålningsbalans genom att både reflektera solstrålning (kylande) och hålla kvar värmestrålning (värmande), men den globala nettoeffekten är uppvärmande (ICAO, 2025b). Eftersom den kylande effekten beror på solinstrålningen är denna effekt lägre, och den nettovärmande effekten följaktligen högre, vinter- och nattetid (Johansson, o.a., 2025).

Kväveoxider bildas vid höga temperaturer i flygmotorer när kväve från luften reagerar med syre. Kväveoxider bidrar till bildning av ozon, som är en växthusgas, men leder samtidigt till att metan bryts ner. Detta ger en kylande effekt eftersom metan är en kraftig växthusgas. Det finns även ytterligare effekter från kemiska processer kopplade till kväveoxider men sammantaget uppskattas nettoeffekten av kväveoxider från flyget vara uppvärmande (ICAO, 2025b).

Andra relevanta utsläpp från luftfarten är svaveloxider, vattenånga samt sotpartiklar. Sotpartiklar har en liten direkt uppvärmande effekt men kan få större effekter i och med att det påverkar bildningen av kondensstrimmor och hur långlivade dessa blir i atmosfären. Svavel i avgaser kan också påverka molnbildning och har en kylande direkt effekt, men effekterna av svavelutsläpp är fortfarande dåligt kartlagda (ICAO, 2025b).

2.4.1 Hantera och uppskatta effekterna

Att undvika atmosfäriska förhållandena som är gynnsamma för att kondensstrimmor ska bildas och bestå kan minska höghöjdseffekterna. Utsläppen av kväveoxider kan också minskas genom teknik och flygstrategier som sänker temperaturerna i motorn samt genom att undvika höjder och områden i atmosfären där kväveoxider blir långlivade. Anpassning av rutter måste dock vägas mot risken för längre flygsträckor, ökad bränsleförbrukning och därmed högre koldioxidutsläpp. Även förbättrad flygteknik och att använda hållbart flygbränsle, som har lägre halt aromater vilket är kopplat till lägre utsläpp av bland annat sotpartiklar, kan bidra till att minska höghöjdseffekterna (ICAO, 2025b).

Hur höghöjdseffekter hanteras i beräkningar varierar eftersom osäkerheterna är stora. Generellt bedöms effekterna vara lägre för inrikesflyg och högre för internationella flygningar, då inrikesflyg oftast sker på lägre höjd. Exempelvis använder undersökningen från Chalmers (Kamb & Larsson, 2019) en faktor på 1,4 för inrikesflyg och 1,9 för utrikesflyg när höghöjdseffekter inkluderas i beräkningar av svenskars flygresor. Europeiska unionens byrå för luftfartssäkerhet (EASA) har uppskattat att mer än hälften av flygets totala klimateffekt kommer från höghöjdseffekter⁶ (EASA, 2022). Den stora osäkerheten och komplexiteten kopplat till höghöjdseffekterna gör att beräkningar av luftfartens sammantagna klimatpåverkan är förknippade med betydande osäkerheter.

En utmaning är att isövermättade regioner, där kondensstrimmor kan bli långlivade, tenderar att variera i tid och rum och är svåra att prognosticera. Johansson, o.a. (2025) understryker att effektiva styrmedel kräver noggranna prognoser för

⁵ När luften innehåller mer vattenånga än vad som kan kondensera vid rådande temperatur, vilket gör att is kan bildas.

⁶ EASA uppger att de samlade icke-koldioxideffekterna 2018 stod för cirka 66 procent av flygets totala uppvärmande klimatpåverkan, mätt i effektiv strålningspåverkan.

kondensstrimmors livslängd och strålningsegenskaper för att på ett välgrundat sätt kunna planera begränsande åtgärder.

Från första januari 2025 pågår ett arbete inom EU för att samla in data över de icke-koldioxidbaserade effekterna från flygtrafiken genom ett system för övervakning, rapportering och verifiering. Systemet ska beräkna koldioxidekvivalenter per flygning med hjälp av avancerade metoder som använder flyginformation, data om flygplan och bränsle, prestandauppgifter samt väderdata. I slutet av 2027 ska kommissionen presentera en rapport om resultaten och, om det bedöms lämpligt, lägga fram ett lagförslag för att hantera flygets höghöjdseffekter (EU-kommissionen, u.d.-a). Även ICAO bedriver arbete på internationell nivå för att öka kunskapen om och samarbetet kring att hantera icke-koldioxidrelaterade effekter av flyget (ICAO, u.d.-a).

2.5 Sammanfattande reflektion

Utsläppen från svensk luftfart påverkas av en rad tekniska, operativa och meteorologiska faktorer, från flygplanstyp och startvikt till val av rutt och höjd. Trots detta står det klart att flygets totala klimatpåverkan framför allt drivs av den stora volymen utrikesresor, som utgör majoriteten av utsläppen. Dock är utsläppen per personkilometer högre för inrikesflyg, då startmomentet är särskilt energikrävande. Höghöjdseffekter, som kan fördubbla flygets klimatpåverkan, försvårar ytterligare bilden och skapar stora osäkerheter, samtidigt som EU och ICAO arbetar för att kunna mäta och reglera dessa effekter bättre.

Mot denna bakgrund framträder ett tydligt behov av att accelerera omställningen av den svenska luftfarten. Inrikesflyget ligger kvar på låga nivåer efter pandemin, men utsläppsintensiteten är hög och användningen av hållbart flygbränsle är ännu mycket begränsad. Utrikesflyget har återhämtats snabbare och står för den helt dominerande klimatpåverkan. Samtidigt visar studier att svenskarnas faktiska klimatpåverkan från flyg är flera gånger större än vad officiella inventeringar visar, vilket understryker att nuvarande styrning inte fångar hela problemets omfattning. För att luftfarten ska kunna ställa om till fossilfrihet krävs därför ett sammanhållet och kraftfullt förändringsarbete.

3 Luftfartens aktörer och dagens luftfart

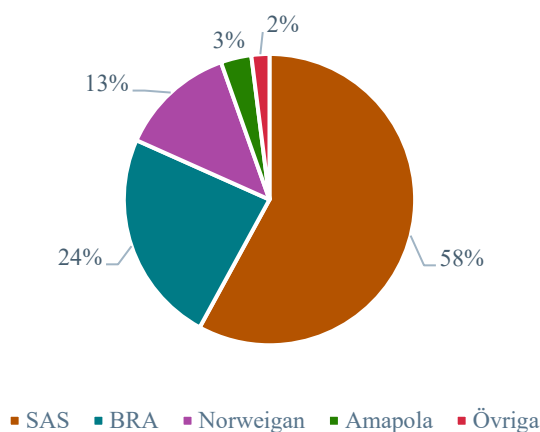
Det här kapitlet ger en samlad beskrivning av de viktigaste aktörerna i luftfartssektorn och hur deras roller påverkar möjligheterna att ställa om till en fossilfri luftfart. Genom att lyfta bland annat flygbolag, flygplatser, statliga myndigheter och flygplanstillverkare skapar kapitlet en helhetsförståelse för vilka delar av systemet som är avgörande för omställningen till fossilfrihet. Även lufttrafikens utveckling beskrivs i kapitlet.

3.1 Luftfartens aktörer

Luftfartssektorn består av en rad olika aktörer/verksamheter som direkt eller indirekt påverkar eller påverkas av omställningen mot en fossilfri luftfart. I det här avsnittet beskrivs kortfattat hur aktörer inom områdena flygbolag, flygplatser, myndigheter och flygplanstillverkare kan spela en roll i omställningen.

3.1.1 Flygbolag på den svenska marknaden

Det svenska inrikesflyget kännetecknas av stordriftsfördelar med ett fåtal stora flygoperatörer med i huvudsak linjefart⁷ som transporterar majoriteten av resenärerna. Dominerande på marknaden är flygbolaget SAS vars marknadsandel 2024 uppgick till knappt 60 procent, se Figur 3. I kategorin övriga ingår flygbolag som utför flygningar i den upphandlade trafiken med mindre passagerarflygplan.



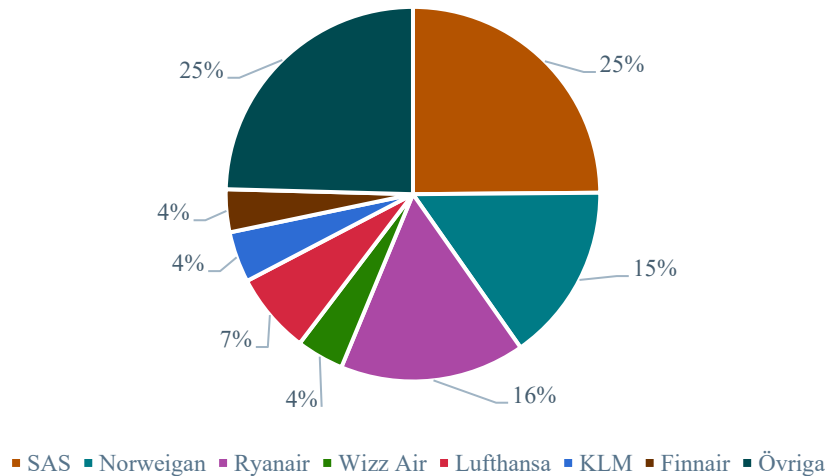
Figur 3 Marknadsandelar inom inrikesflyget 2024.

Källa: (Trafikanalys, 2025a)

Konkurrenssituationen inom utrikesflyget ser annorlunda ut, även om SAS också har den största marknadsandelen på denna marknad med en andel på 25 procent, se Figur

⁷ Transport av passagerare, frakt och post enligt på förhand överenskommen tidtabell.

4. På utrikesmarknaden finns flera lågkostnadsbolag. Ryanair är det största av dessa med en marknadsandel som uppgick till 16 procent 2024.



Figur 4 Marknadsandelar inom utrikesflyget, 2024.

Källa: (Trafikanalys, 2025a)

De flesta klimatkrav träffar flygbolagen som opererar planen. När flygbolagen tvingas minska utsläpp (bland annat till följd av ETS1 och ReFuelEU Aviation, se vidare kapitel 4) ökar efterfrågan på att köpa eller leasa nyare, mer bränsleeffektiva plan. För att ställa om flygplansflottan till fossilfrihet och öka takten i omställningen behöver flygplanen fortsätta utvecklas.

3.1.2 De svenska flygplatserna

Flygplatser är centrala platser och aktörer i omställningen till fossilfrihet, eftersom ny teknik och infrastruktur för implementeras inom flygplatsernas område. Det fanns i slutet av 2024 totalt 247 flygplatser i Sverige. Till dessa tillkommer 22 godkända civila helikopterflygplatser. Av alla flygplatser i landet har 39 flygplatser linjefart eller chartertrafik och är så kallade trafikflygplatser. Av de 39 trafikflygplatserna är tio statliga (Swedavia⁸) och övriga är kommunalt och/eller privat ägda (Trafikanalys, 2025b).

En uppdelning av den inrikes trafiken på flygplatser med upphandlad trafik, privata och kommunala flygplatser samt Swedavias flygplatser visar att den upphandlade trafiken 2024 hade återhämtat sig efter nedgången under pandemin och antalet avresande från dessa flygplatser var något större under 2024. Inrikes resande från Swedavias flygplatser var 67 procent av nivån 2019 medan det för de privata och kommunala flygplatserna var på 61 procent. Det var 90 procent av de resande i inrikestrafiken som avreste från någon av Swedavias flygplatser. (Trafikanalys, 2025a)

⁸ Swedavias flygplatser är Stockholm Arlanda Airport, Bromma Stockholm Airport, Göteborg Landvetter Airport, Malmö Airport, Kiruna Airport, Luleå Airport, Umeå Airport, Åre Östersund Airport, Visby Airport och Ronneby Airport.

De tio statliga flygplatserna hanterade 94 procent av flygresenärerna och 73 procent av landningarna år 2024 (Trafikanalys, 2025b). De statliga flygplatserna har en större andel utrikes passagerare med i genomsnitt större flygplan medan de kommunala/privata flygplatserna i huvudsak tar emot mindre flygplan i inrikes trafik, med en större andel taxiflyg.

De mindre icke-statliga flygplatserna har stor betydelse för den regionala och kommunala tillgängligheten. Flygplatserna är också beroende av varandra eftersom de mindre flygplatserna har matartrafik till och från de större flygplatserna där byten görs till och från andra flygningar, inte minst för att möjliggöra utlandsresor.

Flygtrafikledning (Air Traffic Management, ATM) kan vara en viktig del i arbetet med att minska luftfartens utsläpp genom att effektivisera och optimera trafiken (IATA, 2023). Ineffektivitet i horisontella flygvägar⁹ står för den största delen av de extra koldioxidutsläppen under en genomsnittlig flygning i Europa. När rutterna inte är optimala, eller så raka som möjligt, ökar bränsleförbrukningen och utsläppen. Säkerhetsaspekter, väderförhållanden och militära zoner är exempel på faktorer som gör att flygplan inte alltid kan flyga den rakaste vägen (EEA, 2022). Flygledning kan även påverka rutter för att undvika luftrum och höjder där höghöjdseffekterna blir större, vilket dock måste vägas mot att det kan påverka ruttens längd vilket i sin tur leder till högre koldioxidutsläpp (Luftfartsverket, u.d.).

I Sverige tillämpas Free Route Airspace, vilket ger flygbolag möjlighet att flyga raka rutter inom svenskt luftrum för att minska miljöpåverkan. Från 2024 kräver EU att alla medlemsländer inför Free Route Airspace (Luftfartsverket, u.d.). Sedan 2004 finns även initiativet Single European Sky inom EU med syftet att minska fragmentering i luftrummet och öka säkerhet och effektivitet samt reducera klimatpåverkan genom bättre flygledning (EU-kommissionen, u.d.-b).

3.1.3 Statliga myndigheter

Centrala myndigheter för luftfarten är bland annat Transportstyrelsen, Luftfartsverket och Trafikverket. Sjöfartsverket och Kustbevakning är också två myndigheter som har en viss egen luftfart.

Transportstyrelsen ansvarar för tillsyn, regelgivning, tillståndsprövning, tillstånd samt registerhållning inom luftfarten (till exempel säkerhet och certifiering). De utformar och implementerar svenska föreskrifter baserade på internationella standarder (som EU-lagstiftning). Vidare prövar de ansökningar för flygföretag, flygplatser och flygtrafiktjänst. Dessutom beslutar de om inrättande och drift av flygplatser.

Luftfartsverket (Lfv) levererar flygtrafiktjänst (flygledning) för civil och militär luftfart och tjänster för planering och genomförande av flygning för obemannad luftfart. De tillhandahåller flygtrafiktjänst i alla beredskapslägen och är en av de myndigheter som har ett särskilt ansvar för att planera beredskap. De flygleder också all överflygande trafik i det övre svenska luftrummet. Luftfartsverket har monopol på flygtrafiktjänster i det övre luftrummet i Sverige. Marknaden för flygtrafiktjänster i det undre luftrummet vid flygplatser (lokal flygtrafikledning) är däremot avreglerad med undantag av det statliga basutbudet. Dessutom bedriver Luftfartsverket forskning

⁹ Horisontella flygvägar är förutbestämda rutter i luftrummet som flygplan följer, där separationen mellan flygplan på marschhöjd typiskt är cirka 6 kilometer horisontellt. Dessa rutter är strukturerade för att säkerställa säkerhet och effektivitet genom att minimera risken för kollisioner, särskilt vid start och landning i kontrollerat luftrum.

som leder till utveckling av flygtrafiktjänsten, för att möta nya krav och ändrade förutsättningar för användning av lufterummet.

Trafikverket planerar och utvecklar den långsiktiga infrastrukturen för luftfarten. Vidare bedriver och samordnar Trafikverket forskning inom luftfartsområdet, ofta i nära samarbete med Luftfartsverket och andra aktörer (se vidare avsnitt 10.1). Trafikverket har till uppgift att upphandla flyg under allmän trafikplikt på olönsamma flyglinjer som anses vara viktiga för att upprätthålla en grundläggande tillgänglighet i hela landet. Det är främst flyglinjer från mindre flygplatser i det inre av Norrland och Svealand till Arlanda. Därtill upphandlas flyg mellan Pajala och Luleå respektive mellan Östersund och Umeå.

Sjöfartsverket har ansvar för att det finns räddningshelikoptrar för statlig sjö- och flygräddning och Kustbevakningen innehar flygplan för miljö- och sjöräddningsinsatser till sjöss.

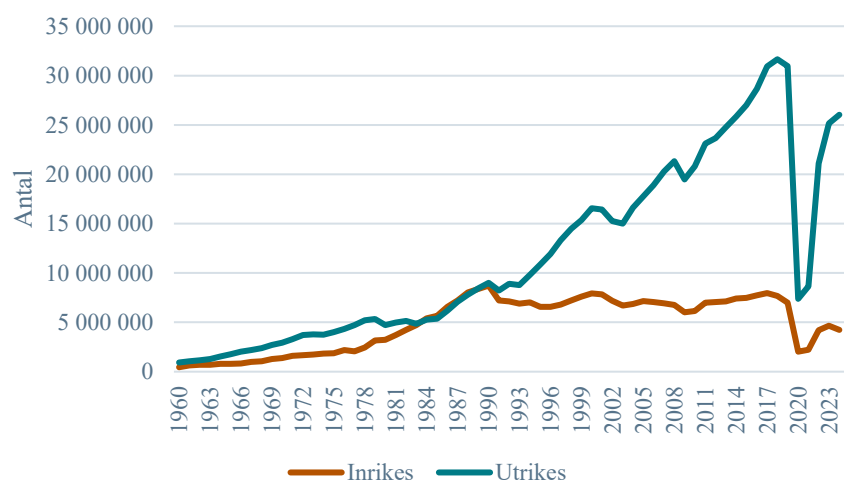
3.1.4 Flygplanstillverkare

Flygplanstillverkare investerar i nya, mer bränsleeffektiva flygplan och forskar på vätgas, el- och hybridkoncept. De har långa utvecklingscykler (10–15 år). Höga kostnader gör att de har liten benägenhet att ta stora tekniksprång utan säker efterfrågan. Även motortillverkare jobbar med att få fram effektivare motorer och forskar på el-, hybridmotorer och SAF-kompatibilitet. Även de har höga FoU-kostnader och teknisk risk.

3.2 Den svenska lufttrafiken

Antalet avresande passagerare i både inrikes och utrikes trafik har förändrats mycket sedan statistik började samlas in. År 1960 var antalet passagerare i utrikestrafiken ungefär dubbelt så många som i inrikestrafiken. Fram till 1978 var den procentuella tillväxten i passagerarvolymen ungefär lika stor, men från 1978 ökade tillväxttakten i inrikestrafiken och en kort period mellan åren 1984 och 1988 var antalet passagerare större i inrikestrafiken än i utrikestrafiken. (Trafikanalys, 2025b)

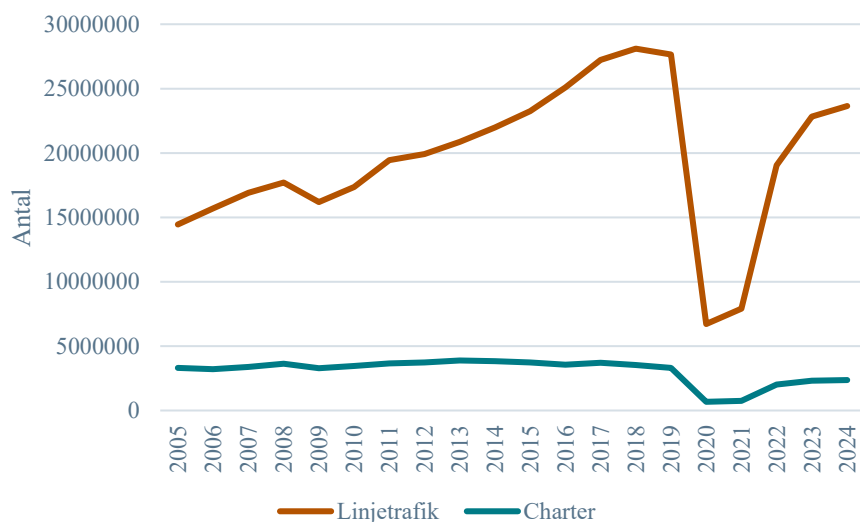
År 1990 var antalet passagerare i inrikestrafiken som störst med 8,7 miljoner passagerare. År 1991 sjönk passagerarantalet till omkring 7 miljoner passagerare, vilket med små årliga variationer skulle vara nivån för inrikesflyget fram till pandemin, se Figur 5. I samband med pandemin minskade passagerarantalet kraftigt och återhämtningen har gått långsamt. År 2024 var antalet passagerare 2,7 miljoner lägre än år 2019 vilket motsvarar en minskning på 39 procent. (Trafikanalys, 2025b)



Figur 5 Antal avresande passagerare i inrikes och utrikes trafik 1960–2024.

Källa: (Trafikanalys, 2025b)

Utrikestrafiken ökade stadigt under hela perioden fram till pandemin, med undantag för några konjunkturrelaterade nedgångar. Pandemin ledde även för utrikestrafiken till en mycket kraftig nedgång av passagerarantalet. Återhämtningen har dock gått snabbare i utrikestrafiken och 2024 var antalet passagerare 16 procent lägre än år 2019. (Trafikanalys, 2025b)



Figur 6 Utrikes passagerare fördelat på linje- respektive chartertrafik

Källa: (Trafikanalys, 2025b)

Uppgifter om utrikes passagerare fördelat på linje- respektive chartertrafik finns sedan 2005 (Trafikanalys, 2025b). Siffrorna visar att antalet passagerare i linjetrafiken fördubblades fram till och med 2019 medan den för chartertrafiken var kvar på samma nivå som 2005. Efter pandemin har linjetrafiken återhämtat sig snabbare än chartertrafiken och antalet passagerare 2024 motsvarade 86 procent av antalet 2019 medan motsvarande uppgift för chartertrafiken var 72 procent.

Tabell 1 redovisar flygtimmar för svenskregistrerade luftfartyg. Passagerarflyget utgörs av både inrikes och utrikes trafik och bedrivs av allt från små plan till stora. De små planen används inom taxifyget där inte fler än tio passagerare får befordras men också på destinationer med få passagerare. De flygplan som används i inrikes trafik är generellt mindre till storleken än de som används i utrikes trafik. Sett till antalet flygtimmar sker färre än tio procent med helikopter. (Transportstyrelsen, 2025b)

Tabell 1 Flygtimmar för svenskregistrerade luftfartyg 2024.

Typ av flygning	Antal flygtimmar
Linjeflyg/Charter	376 656
Taxifyg	9 815
Aerial work ¹⁰	38 315
Privatflyg	41 589
Skolflyg	28 269
Statsluftfart	7 550
Annan	2 760
Summa	504 954
<i>Varav med helikopter</i>	<i>44 376</i>

Källa: (Transportstyrelsen, 2025b)

Trenden är att flygplansstorleken inom utrikestrafiken fortsätter att växa, medan flygplansstorleken efter pandemin minskat inom inrikestrafiken. Det sistnämnda är en anpassning till det vikande passagerarunderlaget inom inrikestrafiken. En förklaring till den växande trenden inom utrikesflyget är att flygresenärerna koncentreras till färre avgångar. Se Tabell 2 för en jämförelse mellan år 2019 och 2024 för genomsnittligt antal passagerar- och stolantal i linje- och chartertrafik.

Tabell 2 Genomsnittligt passagerar- och stolantal i linje- och chartertrafik, 2019 och 2024.

	2019		2024	
	<i>Inrikes</i>	<i>Utrikes</i>	<i>Inrikes</i>	<i>Utrikes</i>
Genomsnittligt passagerarantal	64	116	59	126
Genomsnittligt stolantal	105	155	93	162

Källa: Bearbetning av Trafikanalys luftfartsstatistik (Trafikanalys, 2025b).

År 2024 fraktades 1 739 ton gods och 5 744 ton post inom inrikesflyget. Dessa nivåer har varit relativt stabila under de senaste åren (Transportstyrelsen, 2025c). Inom fraktflyget används dels flygplan som enbart transporterar gods, men gods transporteras också i passagerarflygplan (paxbelly). En del av flygfrakten transporteras från en flygplats till en annan med lastbil och denna verksamhet brukar betecknas som trucking. Dedikerade fraktflyg förekommer i stort sett bara i utrikes trafik sedan Postnord i början av 2025 slutade flyga post i Sverige.

¹⁰ Med Aerial work avses verksamhet med luftfart där luftfartyget används för särskilda uppgifter, till exempel jordbruksflyg, bygg- eller anläggningsarbete, fotoflyg, lantmäteri, övervakning eller patrullering, flygräddningstjänst eller reklamflygning.

3.3 Sammanfattande reflektioner

Luftfartssektorn består av många aktörer som alla har viktiga roller i omställningen till fossilfrihet. Flygplatserna är navet där ny teknik, ny infrastruktur och nya bränslen måste implementeras och även de mindre regionala flygplatserna utgör viktiga delar i ett sammanlänkat nätverk av matartrafik till större nav. Utvecklingen av nya flygplanstekniker påverkar också hela aktörskartan: från tillverkare och motortillverkare till flygplatser och flygbolag.

Luftfartens strukturella utveckling påverkar också omställningens förutsättningar och behov av stöd. Flygbolagen möter ökande klimatkrav och styrmedel (såsom ETS1, ReFuelEU Aviation och CORSIA, se kapitel 4), vilket driver efterfrågan mot mer bränsleeffektiva flygplan. Den långsamma återhämtningen i inrikestrafiken efter pandemin och ökande flygplansstorlekar i utrikestrafiken förändrar vilka rutter och flygplatser som bär upp trafiksystemet. Globalt väntas flygandet fortsätta öka kraftigt, vilket gör att snabba tekniksprång och en skarpare klimatstyrning kan få en viktig betydelse för att minska utsläppen.

4 Befintlig styrning

De övergripande förutsättningarna för luftfartens omställning till fossilfrihet bestäms i hög grad av beslut som fattas utanför Sverige. På klimatområdet sätter EU:s klimatramverk och Sveriges klimatpolitiska ramverk (och i grunden Parisavtalet) ramarna för den samlade utsläppsminskningstakten. För den globala luftfarten har dessutom den internationella luftfartsorganisationen (ICAO) en central roll genom globala standarder, rekommendationer och mål för minskade växthusgasutsläpp. Därutöver finns flera EU-regelverk som är direkt styrande för luftfarten.

Detta kapitel ger en samlad genomgång av de internationella regelverk som sätter ramarna för luftfartens omställning till fossilfrihet. Även det svenska klimatramverket beskrivs. Syftet med kapitlet är att visa hur regelverken påverkar omställningstrycket för svensk luftfart för att kunna identifiera vilka behov av stöd som uppstår när sektorn ska anpassa sig till en skärpt styrning.

Det finns förstås även andra regelverk än de som nämns i detta kapitel som har en påverkan på luftfartens omställning till fossilfrihet. Ett exempel är taxonomiförordningen (Förordning 2020/852), ett klassificeringssystem som fastställer kriterier för när en ekonomisk verksamhet eller aktivitet ska anses vara miljömässigt hållbar. Det finns även viss nationell styrning mot minskade utsläpp såsom bränslebeskattning för privat luftfart och differentierade start- och landningsavgifter. Tidigare har luftfarten också omfattats av en reduktionsplikt för flygfotogen samt en flygskatt. Ytterligare beskrivning av den svenska styrningen görs inte inom ramen för denna rapport då befintlig styrning bedöms ha liten effekt på utsläppen.

4.1 EU:s klimatramverk

EU påverkar i hög grad svensk klimat- och energipolitik. Genom den europeiska klimatlagen, *Fit for 55-paketet* och energiunionens mål har EU fastställt en minskning av nettoutsläppen av växthusgaser med minst 55 procent till 2030 jämfört med 1990 och nettonollutsläpp av växthusgaser till atmosfären senast 2050, med en ambition om negativa utsläpp därefter.

Lagstiftningen inom EU:s klimatpaket *Fit for 55* presenterades 2021 och består utav en uppsättning sammanlänkande rättsakter som tillsammans uppfyller ambitionerna i EU:s klimatlag (Förordning 2021/1119). Utsläppens storlek regleras av de tre växthusgasbudgetlagarna, medan den kompletterande klimatpolitiken driver fram konkreta åtgärder. De tre budgetlagarna för växthusgaser består utav utsläppshandelssystemet (Direktiv 2003/87/EG), ansvarsfördelningsförordningen (ESR) (Förordning 2023/857) och förordningen om markanvändning och skogsbruk (LULUCF) (Förordning 2018/841). Det är framför allt utsläppshandeln som har bäring på luftfarten, läs mer i avsnitt 4.4. (Naturvårdsverket, 2026a).

4.2 Sveriges klimatramverk

Sverige antog 2017 ett klimatpolitiskt ramverk bestående av klimatlag, klimatmål och ett klimatpolitiskt råd. Ramverket ska säkerställa en tydlig och sammanhängande klimatpolitik som ger långsiktiga förutsättningar för näringslivet och samhället att genomföra den omställning som krävs för att Sverige ska nå sina klimatmål.

Sverige har ett långsiktigt klimatmål samt flera etappmål. Senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettonollutsläpp av växthusgaser till atmosfären och därefter uppnå negativa utsläpp. Detta innebär att utsläppen från svenskt territorium ska vara minst 85 procent lägre jämfört med 1990. Etappmålen avser växthusgasutsläpp i den så kallade ESR-sektorn (utsläpp som omfattas av EU:s ansvarsfördelningsförordning). Utsläppen som omfattas av ETS1 ingår inte i etappmålen. Etappmålet till 2030 handlar om att Sveriges utsläpp bör vara 63 procent lägre än 1990 samt enligt etappmålet 2040 bör utsläppen vara 75 procent lägre än 1990. Sverige har också ett etappmål för inrikes transporter, men inrikesflyget är inte inkluderat i detta. Utsläppen från inrikes transporter (utom inrikesflyg) ska minska med 70 procent senast 2030 jämfört med 2010. (Naturvårdsverket, 2026b)

4.3 CORSIA

Det globala klimatstyrmedlet som ICAO¹¹ beslutat om, kallat Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), innebär i korthet att det internationella flygets koldioxidutsläpp ska stabiliseras på 85 procent av 2019 års utsläppsnivå. För att det ska kunna stabiliseras måste flygbolagen använda sig av godkända hållbara flygbränslen alternativt köpa godkända utsläppskrediter för de utsläpp som överstiger denna nivå, även kallad baslinjen. CORSIA är indelat i tre olika faser, där de två första (2021–2023 och 2024–2026) är frivilliga för att i den tredje (2027–2035) bli obligatorisk för de länder som omfattas. I januari 2026 uppgick antalet medverkande länder till 130.

När CORSIA beslutades 2016 av ICAO:s generalförsamling beslutades även hur baslinjen skulle beräknas. Under 2019 och 2020 övervakades, rapporterades och verifierades utsläpp av koldioxid från internationella flygningar för att få fram ett genomsnitt över dessa år. Anledningen till att man valde två år var för att minska risken för ett så kallat ”extremår” som skulle riskera att påverka nivån. Det beslutsfattarna såg framför sig var exempelvis ett vulkanutbrott eller liknande som tidigare fått påverkan på internationell flygtrafik. Men under framför allt 2020 och även 2021 påverkades den internationella flygtrafiken kraftigt av pandemin som ledde till restriktioner och kraftigt minskat resande. Därför skulle baslinjen bli betydligt lägre än vad som förutspåts. I ljuset av detta fattade ICAO:s råd i juni 2020 beslut att för den första fasen av CORSIA 2021–2023 endast utgå från utsläpp som skedde 2019. Samtidigt fattade ICAO:s råd även beslut att starta den periodiska översynen av systemet för att under generalförsamlingsmötet 2022 fatta beslut om baslinjen för resterande faser. Under generalförsamlingsmötet hösten 2022 beslutades att för

¹¹ Internationella civilflygfartsorganisationen (International Civil Aviation Organization, ICAO) är ett FN-organ som grundades 1944 genom Chicagokonventionen och har idag 193 medlemsstater. Organisationens uppgift är att främja en säker, effektiv och hållbar utveckling av den internationella civila luftfarten, främst genom att ta fram internationella standarder och rekommenderade metoder.

CORSIA:s kommande faser 2024–2035 ska baslinjen utgöras av 85 procent av 2019 års utsläpp.

Reglerna för CORSIA är samlade i bilaga 16, volym IV, till Chicagokonventionen och i stödjande dokument, och dessa återfinns på ICAO:s hemsida (ICAO, u.d.-b). En mer utförlig beskrivning av CORSIA ges i Bilaga 1.

4.3.1 ICAO:s långsiktiga globala mål (LTAG)

I oktober 2022, antog ICAO:s medlemsstater även ett kollektivt långsiktigt globalt mål (long-term global aspirational goal, LTAG) om nettonollutsläpp av koldioxid senast 2050 (ICAO, 2025a).

Detta är ett icke-bindande mål, vilket innebär att det är en gemensam ambition snarare än ett juridiskt krav. LTAG är utformat för att vägleda länders och flygindustrins långsiktiga klimatarbete och gäller endast internationell flygtrafik, vilket är vad ICAO:s mandat omfattar. Medlemsstaternas inrikesflyg ingår således inte i målet. ICAO förespråkar en kombination av lösningar, (på engelska basket of measures) för att nå målet; CORSIA, hållbara flygbränslen, ny flygteknik och effektivare flygprocedurer. Det största bidraget väntas komma från hållbara bränslen.

En metodik för uppföljning av det långsiktiga klimatmålet antogs hösten 2025; LTAG Monitoring and Reporting (LMR). LMR-metodiken är ICAO:s ramverk för att bedöma hur internationell luftfart utvecklas i förhållande till LTAG, följa upp genomförda och planerade åtgärder för att minska koldioxidutsläpp, utvärdera kostnader, effekter och framsteg mot målet.

En viktig del i LMR är att följa upp kvarvarande. Detta syftar på de koldioxidutsläpp som kvarstår även efter att alla tekniska, operativa och bränslerelaterade utsläppsminskningar har genomförts, och som därför behöver hanteras med kompletterande åtgärder för att LTAG-målet ska nås. Ett exempel på en sådan åtgärd är koldioxidupptag, där man tar bort koldioxid ur luften och lagrar den på ett sätt som hindrar den från att släppas ut igen, vilket kan hjälpa till att balansera de utsläpp som är svåra att eliminera genom andra åtgärder (ICAO, 2025a).

4.4 EU:s utsläppshandelssystem

EU:s utsläppshandelssystem (ETS1) är ett system med utsläppstak och handel med utsläppsrätter för energiintensiva industrier, elproduktionssektorn, luftfart och sjöfart (Europeiska unionens råd, 2022). Luftfarten stod 2022 för ungefär fyra procent av EU:s utsläpp av växthusgaser. Luftfart är inkluderat i ETS1 sedan 2012.

Utsläppshandelssystemet sätter ett pris på växthusgasutsläpp. Varje år måste de verksamheter som omfattas av systemet överlämna utsläppsrätter som motsvarar deras utsläpp av växthusgaser (EU-kommissionen, u.d.-c). Systemet har ett årligt utsläppstak som minskar successivt enligt en fastställd minskningsbana. Detta tak avgör hur många utsläppsrätter som släpps ut på marknaden varje år (EU-kommissionen, u.d.-d). Att taket sänks över tid skapar ekonomiska incitament för företagen att minska sina utsläpp (EU-kommissionen, u.d.-e). Målet är att utsläppen inom ETS1 ska minska med 62 procent till 2030, jämfört med 2005.

Regelverket täcker alla flyg från, till och inom Europeiska ekonomiska samarbetsområdet (EES)¹² samt Storbritannien och Schweiz (som också har utsläppshandelssystem). EU har dock valt att (tillfälligt) avgränsa täckningen till flyg inom EES för att stötta ICAO:s utveckling av ett globalt system, CORSIA (se avsnitt 4.3). Avgränsningen gäller till och med 2026.

Kommersiella flygoperatörer som släpper ut mer än 10 000 ton koldioxid per år och som under tre på varandra följande fyramånadersperioder utför fler än 243 flygningar per period inkluderas i ETS1. Även icke-kommersiella flygoperatörer som släpper ut mer än 1 000 ton koldioxid per år inkluderas. Luftfartyg med högsta startvikt (MTOW) 5 700 kg eller mindre ingår inte i ETS1. Räddningsflyg, militärflyg, flygningar för polis- och tulländamål, viss upphandlad trafik med flera exkluderas (Naturvårdsverket, 2025c; Direktiv 2003/87/EG, 2003).

Den fria tilldelningen av utsläppsrätter fasas ut 2026, i luftfartssektorn kommer den dock ersättas delvis av kompensation för användning av hållbara flygbränslen. Kompensation beräknas för merkostnaderna för att använda hållbara bränslen jämfört med fossilt flygbränsle. Som kompensation kommer max 20 miljoner flygutsläppsrätter att delas ut till och med 2030. Se nivå av kompensation för olika bränsletyper i

Tabell 3. Slutligen kan upp till 100 procent av merkostnaderna täckas för berättigade bränsletyper (som inte kommer från fossila bränslen) på flygplatser lokaliserade på små öar eller små flygplatser. I den indikativa listan på sådana flygplatser (för 2024) ingår flera svenska flygplatser. Bara bränslen som används av flyg som täcks av ETS1 kommer få kompensation (EU-kommissionen, 2025a; EU-kommissionen, u.d.-a).

Tabell 3 Bränsletyper och nivå av kompensation jämfört med fossilt flygbränsle.

Bränsletyp	Nivå av kompensation (procent av prisskillnaden jämfört med fossilt flygbränsle)
Förnybara bränslen av icke-biologiskt ursprung	95 procent
Vätgas från förnybara energikällor och avancerade biobränslen	70 procent
Andra bränslen av icke-fossilt ursprung som är inkluderade i ReFuelEU Aviation	50 procent

Sedan 1 januari 2025 övervakas och rapporteras luftfartens icke-koldioxideffekter från flyg som ingår i ETS1 för rutter inom EES eller från EES till Schweiz eller Storbritannien. Från 2027 gäller det rutter som involverar en flygplats som ligger inom EES, detta innebär att även flyg till eller från tredjeland kommer omfattas av kravet (Genomförandeförordning 2018/2066). Senast i slutet av 2027 kommer kommissionen att lämna en rapport om resultaten från övervakningen och rapporteringen och, om det bedöms lämpligt, lägga fram ett lagstiftningsförslag för att hantera flygets icke-koldioxideffekter (EU-kommissionen, u.d.-a).

Senast 1 juli 2026 ska kommissionen bedöma om mer styrning behövs för flyg till och från Europa. De ska mer specifikt bedöma den miljömässiga integriteten i ICAO:s globala marknadsbaserade mekanism, inklusive dess övergripande ambitionsnivå i

¹² Detta inkluderar EU samt Norge, Island och Lichtenstein.

förhållande till målen i Parisavtalet samt graden av deltagande i kompensationsystemet CORSIA. Beroende på resultatet av denna bedömning ska kommissionen, om lämpligt, lägga fram ett lagstiftningsförslag. Ett av alternativen som finns tillgängliga är att ändra EU:s utsläppshandelssystem till att omfatta avgående flyg och undanta ankommande flyg. Ett annat alternativ kan vara att behålla det nuvarande europeiska tillämpningsområdet (alltså att göra undantaget permanent), detta är aktuellt om CORSIA stärks och har en hög grad av globalt deltagande (Direktiv 2003/87/EG; EU-kommissionen, u.d.-a). Kommissionen kan också välja att inte lägga fram ett lagförslag, det skulle innebära att ETS1-täckning inom flygsektorn återgår till den ursprungliga. Den ursprungliga täckningen, innan undantaget som gäller till 2027, är alla flyg (dock med vissa undantag) från, till och inom EES samt Storbritannien och Schweiz (Direktiv 2003/87/EG).

År 2026 ska också en rad frågor kopplat till luftfarten utvärderas i kommissionens årliga rapport om ETS1 funktion. Av relevans är en utvärdering av miljö- och klimatpåverkan från flygresor under 1 000 kilometer, samt överväganden av alternativ för att minska påverkan från dessa. Därtill utvärderas miljö- och klimatpåverkan från flygresor som utförs av operatörer som undantas då den maximala startmassan understiger 5 700 kilo eller eftersom de är icke-kommersiella flygoperatörer som släpper ut mindre än 1 000 ton koldioxid per år. Kommissionen ska också presentera överväganden av alternativ för att minska denna påverkan. De sociala konsekvenserna av luftfartens inkludering i ETS1 ska också utvärderas (Direktiv 2003/87/EG).

Flygsektorn täcks inte av ETS2¹³, som är ett separat handelssystem skilt från det befintliga utsläppshandelssystemet, ETS1. Utsläppshandelsdirektivet tillåter medlemsländer att unilateralt utvidga ETS2, alltså inkludera fler sektorer (eller mer specifikt bränsleanvändningsområden). I den opt-in av ytterligare sektorer till ETS 2 som Sverige valt att göra ingår arbetsmaskiner inom hamnar och flygplatser (Naturvårdsverket, 2025d).

4.5 ReFuelEU Aviation

Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation) innehåller bestämmelser som ska öka användningen av och tillgången på hållbara bränslen inom luftfarten (Förordning 2023/2405). EU-förordningen ReFuelEU Aviation ingår i EU:s *Fit for 55-paket* (se avsnitt 4.1).

EU-förordningen omfattar alla flyg som avgår från en unionsflygplats, det vill säga en flygplats inom EU som har fler än 800 000 passagerare eller godstrafik på mer än 100 000 ton frakt per år¹⁴. Förordningen innehåller krav på att flygbränslen som tillhandahålls vid en unionsflygplats, i viss omfattning, ska bestå av hållbart flygbränsle och att sådant hållbart flygbränsle ska tankas. Vidare ställs krav på att underlätta tillgången till hållbara flygbränslen. För att uppfylla dessa krav och själva

¹³ I ETS2 ingår koldioxidutsläpp från förbränning av bränslen från vägtransporter, bostäder och kommersiella eller offentliga lokaler, jordbruk, skogsbruk, och fritidsbåtar. Det omfattar även delar av energi-, tillverknings- och byggindustrin som inte redan täcks av ETS1. ETS2 är ett uppströmssystem där ansvar och skyldigheter i huvudsak ligger hos producenter och leverantörer i stället för enskilda bränsleanvändare.

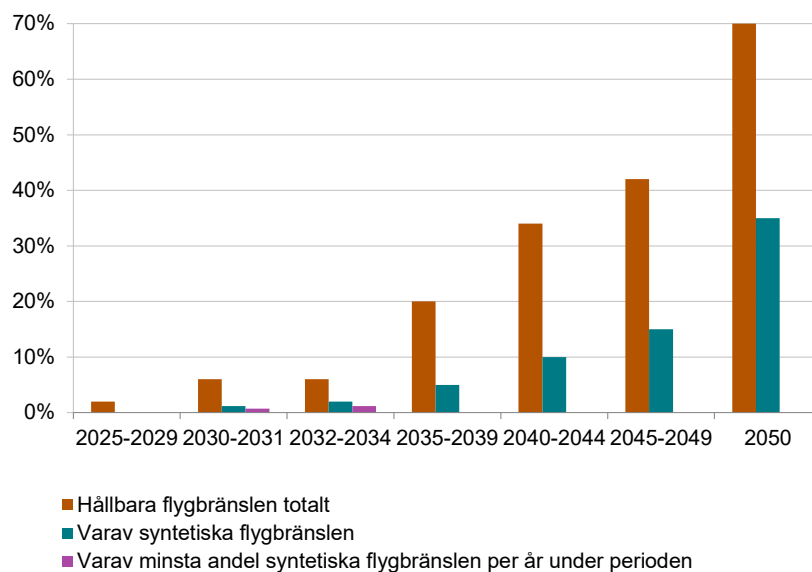
¹⁴ Sverige har fem unionsflygplatser: Göteborg/Landvetter, Luleå/Kallax, Malmö/Sturup, Stockholm/Arlanda och Stockholm/Bromma.

syftet med EU-förordningen ställs därför krav på luftfartygsoperatörerna, flygbränsleleverantörerna och ledningsenheterna på unionsflygplatserna.

Flygbränsleleverantörer som omfattas av EU-förordningen ska säkerställa att allt flygbränsle som tillhandahålls luftfartygsoperatörer vid varje unionsflygplats innehåller en minimiandel hållbart flygbränsle, inklusive en minimiandel syntetiskt flygbränsle i enlighet med de värden och tillämpningsdatum som anges i EU-förordningen. Flygbränsleleverantörer ska gradvis öka inblandningen av hållbara flygbränslen i fossilt flygbränsle från och med den 1 januari 2025 då miniminivån är två procent hållbara flygbränslen. Vidare är miniminivån sex procent från och med den 1 januari 2030 och då införs även ett särskilt krav på inblandning av syntetiska flygbränslen med en miniminivå på 0,7 procent. Miniminivån höjs sedan successivt vart femte år fram till 2050 då den ligger på 70 procent, varav minst 35 procent ska vara syntetiska flygbränslen, se Figur 7.

Bränsleleverantörerna ska årligen uppfylla miniminivåerna och rapportera vilka totala volymer flygbränsle de levererar, inklusive andelen hållbara flygbränslen och deras livscykelutsläpp.

En mer detaljerad beskrivning av ReFuelEU Aviation ges i Bilaga 2.



Figur 7 Inblandningskrav i ReFuelEU Aviation.

Källa: (Förordning 2023/2405).

4.6 EU:s förnybartdirektiv

EU:s förnybartdirektiv, Renewable Energy Directive (RED) (Direktiv 2018/2001) med de senaste uppdateringarna från 2023 (Direktiv 2023/2413), utgör det centrala regelverket för att främja användningen av energi från förnybara källor inom unionen. I förnybartdirektivet finns ett bindande mål att minst 42,5 procent av EU:s slutliga energianvändning ska komma från förnybara källor 2030, med ett vägledande tillägg

om att sträva efter ytterligare 2,5 procentenheter. Direktivet förtydligar även sektorspecifika åtgärder och delmål samt har ett visst fokus på att påskynda utvecklingen inom områden där integrering av förnybar energi har gått långsammare. Mål relevanta för luftfartssektorn är bland annat mål för transportsektorn samt mål för avancerade biodrivmedel, biogas och RFNBO.

4.6.1 Hållbara bränslen enligt förnybartdirektivet

För att biodrivmedel, biogas och flytande biobränslen ska räknas som hållbara inom transportsektorn krävs att de uppnår växthusgasminskningar jämfört med fossila bränslen på minst 65 procent för bränslen producerade i anläggningar som tagits i drift från och med 2021. Äldre anläggningar omfattas av lägre nivåer enligt en stegrande trappa av reduktionskrav.

I direktivet ges även kriterier för råvaror för att se till att produktion av bränslen bland annat inte leder till negativ påverkan på biologisk mångfald och förändrad markanvändning. I förnybartdirektivets bilaga IX listas råvaror som kan användas för att producera så kallade avancerade biodrivmedel vilka har ett särskilt mål för andel av transportsektorns energianvändning.

För RFNBO gäller att utsläppsminskningen ska vara minst 70 procent. RFNBO regleras även genom två delegerade EU-förordningar från 2023. Den ena fastställer när elen till elektrolytisk vätgas och syntetiska elektrobränslen får räknas som förnybar. Akten anger bland annat krav på att bränslena produceras med förnybar el samt uppfyller kriterier för additionalitet och tids- och geografisk matchning (Delegerad förordning 2023/1184). Den andra anger reglerna för hur livscykelutsläpp av växthusgaser från RFNBO ska beräknas (Delegerad förordning 2023/1185).

4.6.2 Transportsektorns mål enligt artikel 25

Förnybartdirektivet innehåller särskilda bestämmelser för transportsektorn som regleras i artikel 25. Medlemsstaterna ska säkerställa att bränsleleverantörer uppfyller minst ett av följande krav senast år 2030:

- att andelen förnybar energi i den slutliga energianvändningen inom transportsektorn uppgår till minst 29 procent, eller
- att växthusgasintensiteten minskar med minst 14,5 procent jämfört med ett fastställt referensvärde.

Alla typer av energi från förnybara energikällor som används i alla inrikes transportsätt, inklusive utrikes sjöfart och flyg, ingår. Utöver det inkluderas nu också RFNBO som används i raffinaderier för produktion av både konventionella drivmedel och biodrivmedel.

Det har tillkommit flertalet submål på användning av specifika drivmedel för transportsektorn som inkluderar luft- och sjöfart. En viss andel av drivmedlen inom transportsektorn ska bestå av särskilt hållbara alternativ. Det innefattar dels avancerade biodrivmedel och biogas från råvaror i som definieras i förnybartdirektivets bilagor, dels RFNBO. Avancerade biodrivmedel och biogas tillsammans med RFNBO, såsom elektrolysbaserad vätgas och syntetiska drivmedel, lyfts fram som särskilt viktiga. Dessa bränslen möjliggör förnybar drift inom sektorer där direkt elektrifiering är tekniskt eller ekonomiskt utmanande, som exempelvis inom luftfarten.

Tillsammans ska dessa bränslen utgöra minst en procent av den totala energianvändningen 2025 och minst 5,5 procent år 2030. Av andelen 2030 ska minst en procentenhet komma specifikt från RFNBO. Trots de specifika målen för transportsektorn i förnybartdirektivet påverkas luftfarten främst av ReFuelEU Aviation och dess mer långtgående krav. Förnybartdirektivet är dock i detta sammanhang ändå viktig eftersom den fastslår definitioner för olika förnybara bränslen och tekniker.

4.7 Sammanfattande reflektioner

Den nuvarande styrningen av luftfarten präglas av flera lager av framför allt internationella regelverk som tillsammans sätter en hög och alltmer skärpt press på sektorn att minska sina utsläpp. ICAO:s globala mål om nettonollutsläpp 2050 och styrmedel CORSIA driver krav på utsläppsbegränsning för internationellt flyg. EU:s klimatramverk och särskilt styrmedlen ETS1 och ReFuelEU Aviation, skapar ett direkt och konkret omställningstryck för både bränsleleverantörer, flygbolag och flygplatser inom EU. ReFuelEU Aviations snabbt stigande krav på användning av hållbart flygbränsle och syntetiska bränslen innebär stora volymökningar som måste byggas upp på kort tid, samtidigt som det successivt skärpta ETS1 gör det dyrare att fortsätta släppa ut. Sammantaget innebär dessa styrmedel att omställningen inom luftfarten inte längre är valfri, utan nödvändig. Samtidigt ligger CORSIA kvar på en relativt låg ambitionsnivå vilket riskerar att skapa ett glapp mellan vad omställningen till fossilfrihet kräver och vad den globala styrningen levererar.

De snabbt ökande kraven på hållbara bränslen kräver omfattande investeringar i produktion, distribution och infrastruktur, där marknaden i nuläget inte klarar att skala upp i den takt som regelverken förutsätter. Även flygbolag och flygplatser står inför betydande kostnadsökningar och investeringsbehov för att kunna ställa om till fossilfrihet. Sammantaget pekar styrningen mot ett tydligt behov av att säkerställa att svensk luftfart hinner anpassa sig till den snabbt skärpta styrningen utan att tappa funktioner som är viktiga för regional tillgänglighet och nationell konkurrenskraft.

5 Analys av den befintliga styrningens effekter

Detta kapitel ger en samlad bild av hur den internationella styrningen påverkar luftfartens framtida omställning till fossilfrihet och hur olika scenarier pekar ut möjliga utvecklingsvägar för bränsleanvändning och utsläppsminskningar. Sammantaget beskriver kapitlet både vilka utsläppsminskningar som kan uppnås vid olika scenarier och vilka stödbehov som uppstår för att Sverige ska kunna möta de krav som finns och nå nettonollutsläpp inom luftfarten.

5.1 Scenarier över framtida utveckling

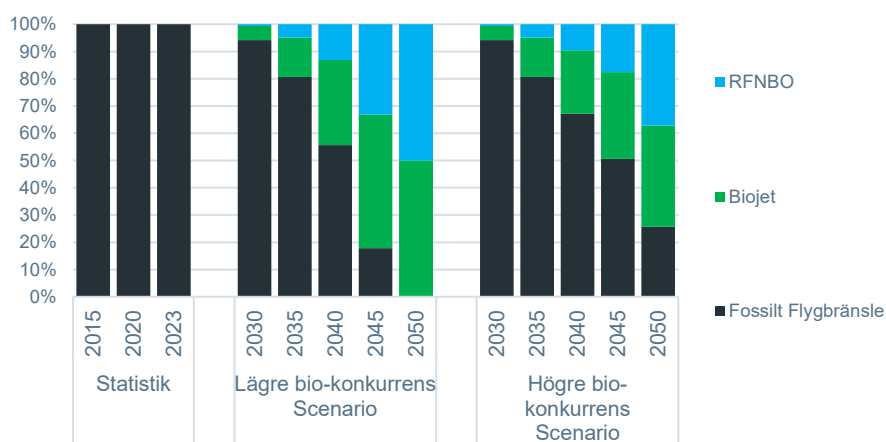
De styrmedel som har en påverkan på den svenska luftfartssektorn har genomgått betydande förändringar under de senaste åren: inledningen av utfasningen av fri tilldelning av utsläppsrätter inom ETS1; införandet av CORSIA för flygningar utanför EU; införandet och sedan borttagandet av en reduktionsplikt för flyget, borttagandet av flygskatten, samt införandet av ReFuelEU Aviation (se kapitel 4 för mer detaljer).

5.1.1 Energimyndighetens scenarier

Vartannat år genomför Energimyndigheten analyser av ett antal scenarier för att se hur Sveriges energisystem, inklusive luftfartssektorn, utvecklas under olika förutsättningar (Energimyndigheten, 2025b). Ett antal olika scenarier och deras potentiella marknadseffekter på bränsleval och användningen av fossila bränslen har analyserats.

Scenarierna har modellerats med det teknisk-ekonomiska optimeringsverktyget TIMES-Nordic, vilket används för att analysera det svenska energisystemet och dess anpassning till framtida förändringar i energiefterfrågan. De mest betydande förenklingarna i modelleringen handlar om antaganden om vilken andel av inrikes och utrikes luftfart som omfattas av ReFuelEU Aviation samt att CORSIA inte har inkluderats i modelleringen. För att modellen ändå ska bibehålla en effekt på all flygtrafik har dock de avgränsningar som finns för ETS1 (att exkludera flygningar utanför EES) inte tillämpats.

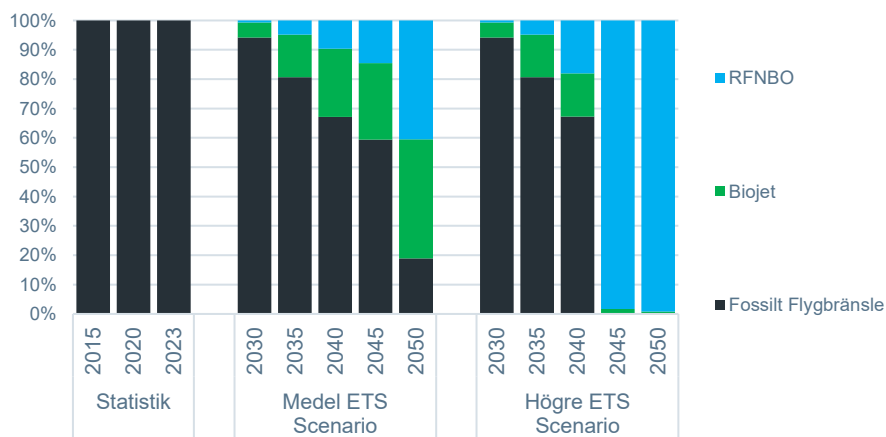
Ett centralt resultat från analysen är samspelet mellan flera sektorer (främst sjöfart, industri och luftfart) när det kommer till efterfrågan på energi. Att uppnå nettonollutsläpp för dessa sektorer driver en betydande efterfrågan på biomassa och elektricitet, och därmed definieras framtida energianvändning av den relativa användbarheten av olika alternativ och deras produktionskostnader. Fossil användning fasas ut tidigare i de scenarier med bäst förutsättningar för tillgång på biobränsle, vilket i de scenarierna är kopplat till en lägre efterfrågan inom industrisektorn. Se Figur 8.



Figur 8 Fördelning av energianvändning per energikälla inom inrikes och utrikes luftfart för två scenarier en med en lägre konkurrens om biomassa och en med högre konkurrens om biomassa.

Källa: (Energimyndigheten, 2025b)

Höga utsläppsrättspriser är avgörande för en snabbare utfasning av fossila bränslen. I scenarier där priset stiger till över 290 EUR/ton koldioxid från och med 2040 sker en total utfasning av fossila bränslen, med elektrobränslen som fyller huvuddelen av det ökade behovet, se Figur 9. Anledningen till modellen väljer elektrobränslen är sannolikt kopplad till den ökade efterfrågan på biomassa i andra sektorer som också reagerar på de höga utsläppsrättspriserna.

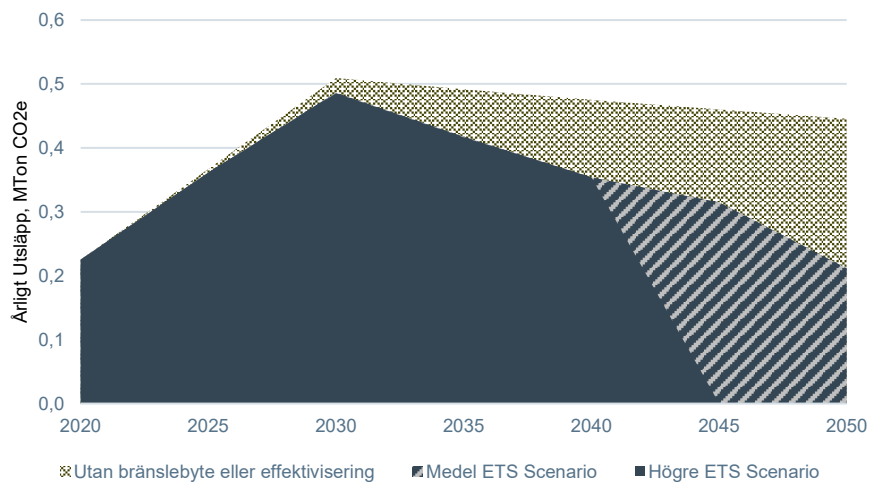


Figur 9 Fördelning av energianvändning per energikälla inom inrikes och utrikes luftfart för två scenarier en med medelhöga utsläppsrättspriser (95 EUR/ton CO₂e 2025 till 220 EUR/ton CO₂e 2050) och en med högre priser (95 EUR/ton CO₂e 2025 till 520 EUR/ton CO₂e 2050).

Källa: (Energimyndigheten, 2025b)

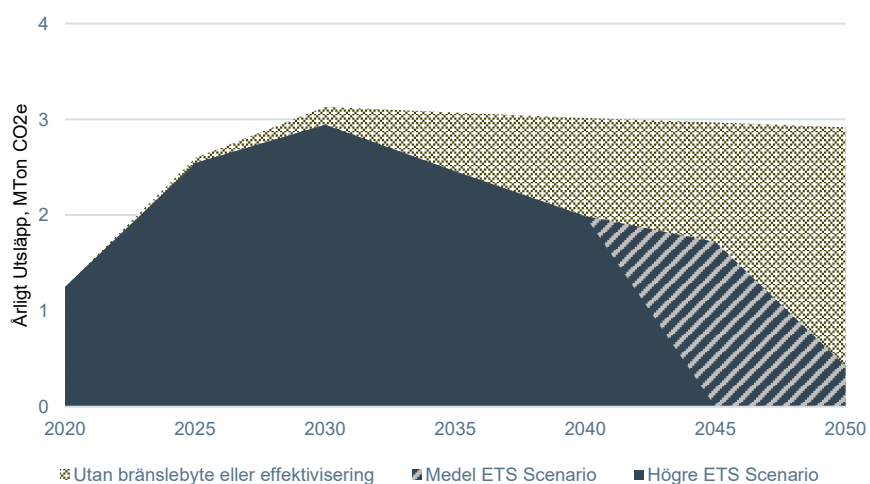
Det är dock viktigt att uppmärksamma osäkerheten i denna modellering, särskilt vad gäller den europeiska och globala efterfrågan som kan driva upp priserna på hållbart flygbränsle. Dessa marknader kan också medföra att eventuell överproduktionen av hållbara flygbränslen i Sverige exporteras i stället för att användas inom den svenska luftfartssektorn.

Vid utvärdering av effektiviteten hos olika styrmedel för att styra luftfartssektorn mot nollutsläpp senast 2050, framgår det tydligt i scenarierna att prissättningen inom EU:s utsläppshandelssystem spelar en avgörande roll. I scenarier med måttlig koldioxidprissättning tenderar sektorn att följa ReFuelEU Aviation-förordningens inblandningskrav och inte överprestera. Eftersom denna förordning huvudsakligen riktar sig till unionsflygplatser (se avsnitt 4.5), är dess påverkan begränsad när det gäller mindre regionala flygplatser och därmed är det en del av inrikes luftfart som inte omfattas och enbart påverkas av utsläppsriktpriserna. Figur 10 och Figur 11 visar två scenarier för utsläpp inom inrikes respektive utrikes luftfart, inklusive ett hypotetiskt jämförelsescenario där inga förändringar sker i bränslemix eller effektivitet jämfört med idag.



Figur 10 Årliga utsläpp från inrikes luftfart i två scenarier, ett med medelhöga utsläppsriktpriser och ett med högre priser, samt ett hypotetiskt jämförelsescenario.

Källa: Energimyndighetens analys av långsiktiga scenarier (Energimyndigheten, 2025b) med utsläppsfaktorer över bränslanvändning (Naturvårdsverket, 2025e).



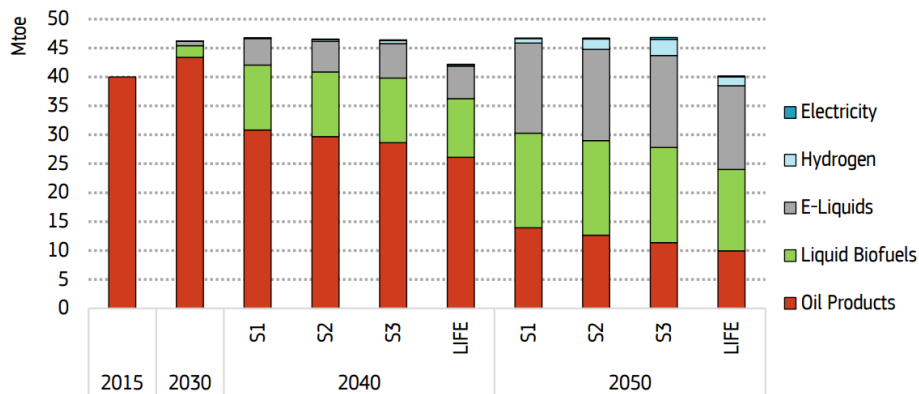
Figur 11 Årliga utsläpp från utrikes luftfart i två scenarier, ett med medelhöga utsläppsriktpriser och ett med högre priser, samt ett hypotetiskt jämförelsescenario.

Källa: Energimyndighetens analys av långsiktiga scenarier (Energimyndigheten, 2025b) med utsläppsfaktorer över bränslanvändning (Naturvårdsverket, 2025e).

Scenarierna visar att om utsläppsrättspriserna förblir relativt låga kan kvarstående utsläpp bestå år 2050; cirka 0,2 miljoner ton (Mton) koldioxidekvivalenter inom inrikes luftfart och 0,4 Mton inom utrikes luftfart. Omvänt, med starka prissignaler, kan utsläppen inom båda segmenten helt elimineras omkring år 2045. Dessa scenarier förutsätter dock, som tidigare nämnts att avgränsningen i ETS1 för flygningar utanför EES tas bort eller att CORSIA är tillräckligt starkt för att driva en omställning till fossilfrihet för de flygningarna.

5.1.2 EU-kommissionens scenarier

EU-kommissionen har genomfört en liknande scenarioanalys av den europeiska energiomställningen (EU-kommissionen, 2024). Den använda metoden är en liknande optimeringsansats som i Energimyndighetens studie, men med vissa andra antaganden, förutsättningar och representationer. Särskilt utmärkande är att i samtliga modeller tillämpas en begränsning av tillgången på biomassa för användning i produktion av biobränslen. Det fanns fyra nollutsläppsscenarioer till 2050 för hela energisektorn, dock med olika ambitionsnivåer för år 2040. Figur 12 visar resultaten för inrikes och utrikes luftfart.



Figur 12 EU Kommissionens 2024 PRIMES-resultat över energianvändning inom inrikes och utrikes luftfart.

Källa: (EU-kommissionen, 2024)

De fyra scenarierna visar liknande utvecklingsvägar som scenarierna under avsnitt 5.1 med en resulterande förnybar bränslemix som består av ungefär hälften biobränslen och hälften elektrobränslen, och som ligger i linje med minimikraven i ReFuelEU Aviation. Resultaten visar att ungefär en fjärdedel av energianvändningen inom europeisk luftfart 2050 fortfarande utgörs av fossila bränslen. Modellen inkluderar elektricitet (vilket inte den svenska modelleringen gjorde), men denna är begränsad till mycket specifika nischmarknader och bidrar därför inte nämnvärt till energianvändningen 2050.

5.2 Analys av de olika styrmedlens effekter på utsläppen

Det samlade styrlandskapet med ETS1, ReFuelEU Aviation och CORSIA skapar ett tydligt omställningstryck för svensk luftfart. Effekten varierar dock beroende på prisnivåer, bränslemarknad och teknikbegränsningar.

Scenarioanalysen visar att det framför allt är koldioxidpriset inom **ETS1** som styr hur snabbt fossilt flygbränsle fasas ut. ETS1 framstår alltså som det enskilt mest avgörande styrmedlet. Vid höga utsläppsrättspriser sker en nästan fullständig utfasning av fossila bränslen i både inrikes och utrikes trafik redan mot slutet av 2040-talet. Med låga priser följer marknaden i princip enbart miniminivåerna i ReFuelEU Aviation och utsläpp kvarstår långt efter 2045.

ReFuelEU Aviation säkerställer att användningen av hållbara flygbränslen ökar i den takt EU beslutat, men är i sig inte tillräckligt för att nå nettonollutsläpp. Förordningen säkerställer stigande andelar SAF, särskilt i utrikestrafiken. Men eftersom delar av inrikesflyget inte omfattas fullt ut och eftersom ReFuelEU Aviation sätter miniminivåer leder den inte till utsläpp nära noll utan framför allt till att marknaden når EU:s golv men inte mer. ReFuelEU Aviation är alltså en styrande miniminivå snarare än en fullständig klimatlösning.

Eftersom **CORSIA** bygger på compensation och använder en relativt hög baslinje påverkar systemet utsläppen i begränsad utsträckning. Utsläppen kan inom CORSIA minskas antingen genom inblandning av hållbara flygbränslen eller genom så kallade ”carbon offsets” (utsläppsminskningsskrediter från andra sektorer). Eftersom produktionen av SAF har betydligt högre kostnad än fossilt flygbränsle är det sannolikt att flygbolag i hög utsträckning kommer att använda carbon offsets för att uppfylla utsläppsminskningsskravet. CORSIA ger en global struktur, men saknar den prissignal som behövs för att driva teknik- och bränsleomställning. Därför bedöms CORSIA ha mycket svag styrande effekt jämfört med ETS1 och förväntas inte driva på efterfrågan av SAF så som regelverket är utformat i nuläget.

Tidigare nationella styrmedel som flygskatt och reduktionsplikt är borttagna, vilket innebär att Sverige nu i praktiken förlitar sig helt på EU:s styrsystem. Detta kan öka behovet av kompletterande nationella stöd eller styrmedel, särskilt för mindre flygplatser och aktörer som inte fullt ut omfattas av EU-regleringen.

Att el- och vätgasflyg inte inkluderades i den svenska scenarioanalysen påverkar resultaten främst på längre sikt, men förändrar inte de övergripande slutsatserna. Fram till 2035 är effekten liten eftersom el- och vätgasdrivna flygplan då bedöms bidra marginellt till den totala energianvändningen. Detta innebär att bränslebaserade styrmedel som ETS1 och ReFuelEU Aviation ändå är de dominerande drivkrafterna för omställningen till fossilfrihet. På längre sikt, mot 2045–2050, kan avsaknaden av el- och vätgasflyg i modellen leda till en överskattning av behovet av SAF samt en underskattning av elektrifieringens potential, särskilt inom inrikes- och kortdistansflyg. Det innebär också att viktiga investeringsbehov i framtida ladd- och vätgasinfrastruktur inte fångas. Samtidigt är huvudslutsatsen robust: styrningen via ETS1 är den mest avgörande faktorn för hur snabbt fossilt flygbränsle ersätts, och ReFuelEU Aviation fungerar fortsatt som en miniminivå snarare än en väg mot nettonollutsläpp. Vid en samlad bedömning förändrar alltså begränsningen inte den

centrala analysen av styrningens effekter, men innebär att modellens långsiktiga energibehov och kostnader troligen är något överskattade.

Modellen pekar också på att konkurrensen om biomassa och el från andra sektorer (såsom industri och sjöfart) starkt påverkar vilka förnybara bränslen som blir ekonomiskt möjliga att producera och använda.

5.3 Sammanfattande reflektioner

Scenarioanalysen visar att luftfartens framtida utveckling i hög grad bestäms av styrmedlens utformning och styrka, snarare än av den tekniska potentialen i sig. Trots en rad förändringar i den politiska verktygslådan, från borttagna nationella styrmedel till införandet av ReFuelEU Aviation, är det tydligt att ETS1 utgör den enskilt viktigaste drivkraften för att fasa ut fossilt flygbränsle. Scenarierna visar att när koldioxidpriset är högt sker en snabb övergång till SAF och en nästan fullständig utfasning av fossila bränslen mot 2045. Vid lägre prisnivåer uppfyller marknaden främst miniminivåer i ReFuelEU Aviation, vilket innebär att betydande utsläpp kvarstår även efter 2050. Eftersom ReFuelEU Aviation huvudsakligen omfattar utrikestrafiken och bara delvis fångar inrikesflyget, fungerar den förordningen främst som ett minimikrav, inte som en mekanism som driver sektorn mot nettonollutsläpp. CORSIA har låg påverkan och förväntas i nuvarande utformning inte bidra i omställningen till fossilfrihet i någon större utsträckning.

Samtidigt framträder flera faktorer som kan dämpa omställningstakten om de inte hanteras aktivt. Konkurrensen om biomassa och el från andra sektorer gör att tillgången till hållbart flygbränsle riskerar att bli begränsad och dyr. El- och vätgasflygets potential på längre sikt fångas inte i modellen, vilket betyder att analysen kan överskatta det långsiktiga behovet av SAF. Detta skapar osäkerhet kring både kostnadsbilden och den faktiska energimixen i framtiden.

Sammantaget visar scenarierna att nuvarande styrning kan möjliggöra mycket stora utsläppsminskningar, men bara om prissignalerna inom ETS1 blir tillräckligt starka och långsiktiga, och om kompletterande nationella stöd införs för att hantera flaskhalsar i bränsleproduktion, infrastruktur och omställningen av inrikesflyget.

6 En samhällsekonomiskt effektiv styrning av luftfarten

Enligt uppdraget ska behovet av stöd för att på ett effektivt sätt påskynda luftfartens omställning till fossilfrihet analyseras. För att göra detta behöver det först analyseras om det finns behov av ytterligare styrmedel överhuvudtaget för att därefter kunna bedöma om dessa i så fall bör vara i form av stöd. För att bedöma lämpligheten i ytterligare styrmedel i en värld där det redan finns styrmedel diskuteras i detta kapitel styrmedelsinteraktioner, det vill säga hur överlappande styrmedel påverkar den samlade effekten av styrningen. Sedan diskuteras om omställningen till fossilfrihet kan ske på ett mer effektivt sätt och om det finns ett behov av förändrade styrmedel. I Bilaga 3 finns även en kort genomgång utifrån nationalekonomisk teori om vilka motiv för styrning som finns.

6.1 Styrmedelsinteraktioner

Uppdraget syftar strikt talat till att påskynda luftfartens omställning till fossilfrihet, oavsett hur det påverkar klimatomställningen i stort. Då delar av luftfarten redan omfattas av ETS1, som reglerar utsläppen i handelssystemet som helhet, är det dock intressant att också analysera vad som händer med utsläppen i resten av systemet. Allt annat lika innebär en snabbare omställning av just luftfarten inom ETS1 bara en omfördelning av det tillgängliga utsläppsutrymmet, så att andra sektorer i utsläppshandeln kan ställa om långsammare.

I praktiken är det dock lite mer komplext än så. Till att börja med finns det mekanismer för att annullera utsläppsrätter, både på innehavarens eget initiativ och automatiskt om överskottet överstiger en viss nivå.¹⁵ Dessutom är ambitionsnivån i styrmedlen inte är fastslagna en gång för alla utan kan ändras genom politiska beslut, där kompletterande styrmedel som minskar efterfrågan och därmed priserna kan väntas öka den politiska viljan till ambitionshöjningar och vice versa.

Det är alltså möjligt att med nationella styrmedel påskynda klimatomställningen på totalen, inte bara fördela om den mellan sektorer, också för utsläpp som omfattas av ETS1. Det innebär dock inte nödvändigtvis att det är effektivt att göra så, jämfört med insatser som träffar sådana farkoster, sträckor eller climateffekter som inte omfattas av utsläppshandeln. Kompletterande styrmedel som påverkar hur den utsläppsminskning som drivs fram av utsläppshandeln sker kan dock ändå vara samhällsekonomiskt effektiva, då det även finns andra marknadsmisslyckanden och hinder som kan motivera statliga ingripanden än den miljöexternalitet i form av växthusgasutsläpp som utsläppshandelssystemet syftar till att hantera.

¹⁵ En närmare beskrivning av systemet med marknadsstabilitetsreserv och automatiska annulleringar ges exempelvis i rapporten *Temperaturhöjning i klimatpolitiken* (Nilsson, 2023).

Frågan om styrmedelsinteraktioner kompliceras vidare av att bara delar av luftfartens klimatpåverkan omfattas av ETS1. Det innebär att det får stora konsekvenser vilken typ av klimatpåverkan som de tillkommande styrmedlen siktar in sig på. Styrmedel som minskar efterfrågan på flygresor, i synnerhet till destinationer utanför EES och mer generellt sådana som är tillräckligt långa för att komma upp på de höjder där höghöjdseffekter aktualiseras (det vill säga framför allt utrikesresor), bidrar till att minska utsläppen utöver de minskningar som täcks av ETS1 och som därmed möjliggör för andra sektorer att släppa ut mer. Sådana kompletterande styrmedel ger därför klimatnytta på totalen och inte bara en omfördelning. Styrmedel som bidrar till ökad användning av hållbara flygbränslen skulle däremot rentav kunna få den paradoxala effekten att klimatpåverkan totalt sett ökar. Detta skulle kunna bli fallet om en ökad biobränsleanvändning gör att konsumenterna uppfattar flyget som mindre klimatskadligt och därmed väljer att öka sitt flygresande. Den klimatpåverkan som sker genom sådana växthusgaser och i sådana länder som omfattas av ETS1 behöver då kompenseras av minskade utsläpp i andra sektorer i utsläppshandeln, men höghöjdseffekter och utsläpp utanför EES leder till en ökad klimatpåverkan på totalen.

6.2 Behov av förändrade styrmedel

I det följande kommer vi att relatera de hinder och marknadsmisslyckanden som beskrivs i Bilaga 3 samt de befintliga styrmedel som beskrevs i kapitel 4 för att utröna i vilken mån det kan vara motiverat med nya eller förändrade styrmedel, både för att direkt påskynda omställningen till fossilfrihet och för att bidra till att omställningen sker på ett mer (samhällsekoniskt) effektivt sätt.

6.2.1 Går omställningen till fossilfrihet tillräckligt fort?

I vilken mån det behövs styrmedel för att påskynda omställningen till fossilfrihet går inte att slå fast objektivt då uppdraget inte specificerar någon omställningstakt som ska uppnås och det heller inte finns några klimatmål specifikt för flyget. Däremot går det att analysera hur långt vi når med befintliga styrmedel, vilket beslutsfattarna sedan kan ha som underlag för att bedöma hur stort behovet av att påskynda omställningen är.

Av de styrmedel som beskrivs i kapitel 4 bedömer vi att det framför allt är ReFuelEU Aviation och ETS1 som styr omställningstakten, medan övriga styrmedel framför allt verkar stödjande. ReFuelEU Aviation är det enda styrmedel som säkerställer att omställningen sker just i luftfarten redan från start. Styrningen i dagsläget kan därmed sägas vara starkast för ökad inblandning av hållbart flygbränsle (SAF), jämfört med andra åtgärder för att minska flygets klimatpåverkan. Inom ETS1 har flyget haft en hög betalningsvilja och köpt utsläppsrätter från andra sektorer, så det är egentligen först när antalet utsläppsrätter krympt så mycket att det inte längre är möjligt för luftfarten att köpa utsläppsrätter från andra sektorer som flyget oavsett betalningsvilja ofrånkomligen måste minska de egna utsläppen. Inom CORSIA finns inget som

hindrar att kraven fullt ut uppnås genom utsläppskrediter, vilket både nu och framgent bedöms vara billigare än att minska utsläppen genom fossilfria bränslen¹⁶

Som framgår av kapitel 5 bedöms fossila bränslen, med beslutade styrmedel, inte fasas ut ur luftfarten före 2050. Detta gäller trots att det, om inga nya beslut fattas, inte kommer att utfärdas några fler utsläppsrätter inom EU:s utsläppshandel efter 2039. Detta är möjligt då luftfarten bedöms kunna köpa på sig utsläppsrätter och spara för användning även efter 2039. EU:s framtida klimatpolitik, inklusive ETS1, är dock delvis en öppen fråga och det går inte att förlita sig på att ETS1 kommer att leverera på det sätt som förutsatts i scenarierna som presenteras i avsnitt 5.1. Det kan därför finnas motiv för ytterligare styrning som skapar säkerhet om fortsatta klimatambitioner för flyget. Dessa bör dock med fördel utformas på ett sätt som beaktar klimatnyttan på totalen och inte bara för luftfarten, i linje med resonemangen om styrmedelsinteraktioner i avsnitt 6.1.

Eftersom styrningen idag är starkast för just ökad inblandning av hållbart flygbränsle finns sannolikt ett större behov av styrmedel som hanterar delar av luftfarten och dess klimatpåverkan där styrningen idag är svag. Samtidigt som det kan finnas behov av att säkerställa möjligheterna att överhuvudtaget nå de krav som finns.

Nuvarande klimatstyrning kan beskrivas utifrån hur den täcker koldioxidutsläpp respektive höghöjdseffekter, inom respektive utom EES. Styrningen mot koldioxidutsläpp kan vidare delas in i de tre kanaler genom vilka utsläppen kan minska, nämligen lägre koldioxidintensitet i drivmedlet (fossilfria bränslen), högre energieffektivitet för flygplanen/flygningarna (bränsleeffektivitet) och lägre trafikarbete (färre/kortare flygresor). Detta visas mycket schematiskt i Figur 13, där grönt betyder att styrmedel finns, gult betyder att styrmedel saknas, men att vissa företagsekonomiska incitament finns även utan styrmedel, och orange betyder att styrmedel saknas och det heller inte finns några företagsekonomiska incitament för denna typ av åtgärd.

Figur 13 Styrning av luftfartens klimatpåverkan¹⁷

	Inom EES	Utom EES
Fossilfria bränslen	ETS+ReFuelEU Aviation	ReFuelEU Aviation
Bränsleeffektivitet	ETS (+bränsle kostar)	Bränsle kostar
Färre/kortare resor	ETS	
Höghöjdseffekter		

¹⁶ Kostnaden för utsläppskrediter innebär visserligen en viss styrning då utsläpp blir dyrare, men som framgår av avsnitt 4.3 innebär valet av basår just före pandemin att flygoperatörerna hittills inte behövt köpa några utsläppsrätter alls. Inom överskådlig tid ser alltså CORSIA inte ut att ge någon kännbar styrning.

¹⁷ Se föregående fotnot om varför CORSIA inte bedöms ge någon kännbar styrning och därför inte redovisas i tabellen.

Som framgår av Figur 13 är styrningen för flygresor utanför EES svag, i vart fall för andra åtgärder än fossilfria bränslen. Detta gäller i synnerhet för minskat resande, som i motsats till bränsleeffektivitet inte är något flygbolagen själva har intresse av (snarare tvärtom).¹⁸ För höghöjdseffekter saknas prissättande styrning helt både inom och utom EES. Därtill kommer undantag för mindre farkoster och operatörer samt vissa tillämpningar (se avsnitt 4.4).

Även om användning av fossilfria bränslen är det område där luftfartens klimatstyrning är minst svag kan det finnas anledning att fundera över om den efterfrågan på hållbart flygbränsle som därmed drivs fram kan mötas på ett mer samhällsekonomiskt effektivt sätt. ReFuelEU Aviation bör skapa en säker marknad för presumtiva bränsleproducenter så i teorin borde det inte krävas några ytterligare styrmedel för att generellt öka produktionen av SAF. Däremot kan det, om det finns andra marknadsmisslyckanden finnas anledning att korrigera för dessa. En viktig kvalifikation är också att regleringen verkligen uppfattas som trovärdig, vilket inte är självklart givet den generella osäkerheten om EU:s framtida klimatambitioner. Produktion och användning av SAF diskuteras mer utförligt i kapitel 7.

6.2.2 Kan omställningen till fossilfrihet ske på ett mer effektivt sätt?

Oavsett om det finns behov att påskynda omställningen till fossilfrihet eller ej är det relevant att undersöka om omställningen kan ske på ett mer (samhällsekonomiskt) effektivt sätt. I detta avsnitt kommer det diskuteras utifrån de marknadsmisslyckanden och hinder som beskrivs i Bilaga 3, samt utifrån vissa andra samhällsmål/nyttor.

Miljöexternaliteter

ETS1 innebär ett gemensamt pris för den klimatpåverkan som täcks av systemet och styr därmed mot att minska denna klimatpåverkan där det är billigast. ETS1 innebär därmed en kostnadseffektiv styrning av den klimatpåverkan som ingår. Som framgår av avsnitt 4.4 täcker prissättningen i systemet dock inte all klimatpåverkan från luftfart (och inte heller annan miljöpåverkan):

- ETS1 täcker enbart utsläppen från själva farkosterna samt från bränsleproduktion som sker inom systemet. Däremot täcks inte utsläpp från bränsleproduktion utanför EES och heller inte annan uppströmpåverkan som till exempel metanläckage vid utvinning och distribution av fossila bränslen eller indirekt ändrad markanvändning vid produktion av biobränslen.
- ETS1 täcker enbart större farkoster och flygoperatörer och undantar dessutom vissa, i huvudsak icke-kommersiella tillämpningar (till exempel inom försvaret).
- ETS1 täcker bara utsläpp (av de växthusgaser som ingår) inom EES, och är länkat till utsläppshandelssystemen i Storbritannien och Schweiz, men däremot täcks inte utsläpp från flygningar till och från länder utanför dessa.
- ETS1 prissätter vissa reglerade växthusgaser men däremot inte flygets höghöjdseffekter.

¹⁸ ReFuelEU Aviation ger visserligen en viss priseffekt och därmed också viss styrning mot bränsleeffektivitet och färre/kortare resor, men då inblandningsnivåerna inledningsvis är låga (två procent vid starten 2025) och egentligen först tar fart från 2035 (20 procent) blir denna effekt högst begränsad.

Att stora delar av luftfarten står utanför ETS1 skapar en ineffektivitet i styrningen då denna klimatpåverkan inte nås av samma prissignal. Delar av denna andra klimatpåverkan täcks dock av andra klimatpolitiska styrmedel:

- ReFuelEU Aviation och förnybartdirektivet bidrar på olika sätt till att hantera livscykelutsläpp från produktion av alternativa bränslen. Dock är kraven låga och indirekt ändrad markanvändning hanteras endast i låg grad.
- Flygbränsle som används för privat ändamål beskattas, men det gäller inte annat flygbränsle. I motsats till vissa fartygsbränslen har Sverige heller inte valt att inkludera flygbränslen i ETS2.

För att öka effektiviteten i styrningen bör en mer enhetlig prissignal eftersträvas, vilket i teorin innebär att all klimatpåverkan bör prissättas av något styrmedel och helst på samma nivå. I praktiken är detta dock knappast möjligt eller lämpligt av skäl som begränsad rådighet, administrativa kostnader i förhållande till nyttan för mycket små utsläpp eller svårigheter att på ett rättvisande sätt prissätta komplexa och kontextberoende climateffekter som indirekt ändrad markanvändning eller flygets höghöjdseffekter. Dessa kan därmed behöva hanteras på ett mer schablonartat sätt som prissätter de aktiviteter som typiskt sett driver dem eller möjligen stimulerar mindre dåliga alternativ, snarare än att prissätta den faktiska klimatpåverkan.

Tillämpat på de luckor i styrningen som identifierats gör Energimyndigheten följande bedömning:

- Säkerställ att de styrmedel som kompletterar ETS1 upprätthåller en tillräcklig styrning mot låg klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Utöver direkt styrning mot bränslets (beräkningsbara) livscykelutsläpp är hållbarhetskriterier viktiga både för att hantera klimatpåverkan relaterade till markanvändning och för andra miljöexternaliteter än klimatpåverkan. Miljöexternaliteter som inte kan hanteras på ett effektivt sätt genom prissättning eller förbud/krav/restriktioner kan stärka motiven för stöd till att utveckla bättre alternativ (jämför *Innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden* nedan).
- När den nuvarande geografiska begränsningen av ETS1 till enbart flygningar inom EES löper ut vid utgången av 2026 (se avsnitt 4.4) bör Sverige verka för att även flygningar inom EES ska ingå i ETS1 med syfte att bidra till en samhällsekonomiskt effektiv omställning av luftfarten. För att undvika dubbelstyrning och öka acceptansen bland länder utanför EES, något som kan vara utmanande, kan det vara lämpligt med en utformning som liknar CBAM.¹⁹ Flygoperatörer skulle då kunna dra av kostnaden för eventuella andra prissättande styrmedel, både CORSIA och i förekommande fall nationella styrmedel. En sådan lösning skulle, liksom CBAM, ha den fördelen att den uppmuntrar till starkare prissättning av flygets klimatpåverkan även utanför EES.²⁰
- Flygets höghöjdseffekter är numera föremål för övervakning och rapportering men däremot inte prissättning inom ETS1. Hur höghöjdseffekterna ska hanteras framgent i ETS1 analyseras av kommissionen (se avsnitt 2.4.1). Sverige bör verka för att höghöjdseffekter ska ingå i ETS1 om inte konsekvensanalyser visar något annat. Som framgår av avsnitt 2.4 omgärdas höghöjdseffekter av stor osäkerhet och komplexitet, vilket försvårar en effektiv styrning. För att en

¹⁹ *Carbon border adjustment mechanism*, EU:s gränsjusteringsmekanism för koldioxid.

²⁰ Med en sådan reform kan det vara lämpligt att också se över kompensationen för SAF (se avsnitt 4.4) eftersom flygoperatörer inom EES då inte längre har merkostnader i förhållande till flygoperatörer utanför.

prissignal ska bli effektiv måste dess storlek vid ett visst beteende vara känd på förhand, så att aktörerna kan anpassa sitt beteende. Om det först i efterhand med rimlig säkerhet går att fastställa om det rådde sådana atmosfäriska förhållanden att en flygning gav upphov till betydande höghöjdseffekter är det svårt att prissätta utifrån den individuella flygningens effekter. I ett sådant läge kan prissättningen behöva bli mer schablonartad, till exempel genom en generell uppräkningsfaktor för antalet utsläppsrätter som måste överlämnas för flygningar över ett visst avstånd²¹, och möjligen ytterligare påslag för ”högriskflygningar” som flygningar på kvällen/natten under vintern längs rutter som är särskilt gynnsamma för bestående kondensmoln (jämför Johansson, o.a. (2025)). Det går också att tänka sig kompletterande nationella styrmedel om det inte går att nå enighet om detta i den pågående översynen av ETS1. Styrmedel som inte direkt, eller bara svagt, baseras på den enskilda flygningens höghöjdseffekter ger visserligen få incitament till den enskilda flygoperatören att lägga upp sina flygningar för att minimera höghöjdseffekter, men de ger ändå resenären incitament att när så är möjligt välja resmål (eller för den delen färdmedel) som i lägre grad ger upphov till höghöjdseffekter. Redan det ökar effektiviteten jämfört med dagens bristfälliga styrning.

- Utsläpp som varken prissätts genom ETS1, ETS2 eller koldioxidbeskattning bör idealiskt sett fångas upp inom något av dessa styrmedel framöver. Att hitta den rätta skärningen i styrningen som undviker såväl luckor som överlapp försvåras dock av att ETS1 är uppbyggt så att det träffar flygoperatörerna medan både energibeskattningen och ETS2 är uppbyggda så att de träffar bränslet (dvs. sådant bränsle som omfattas). Om Sverige skulle vilja vidga den nationella tillämpningen av ETS2 i syfte att täcka sådan luftfart som inte täcks av ETS1 behöver detta godkännas av EU-kommissionen och Sverige behöver då visa hur dubbelräkning gentemot ETS1 undviks (Naturvårdsverket, 2023). De administrativa utmaningarna ska ställas mot att utsläppen från den luftfart som inte alls prissätts är relativt små och dessutom delvis – vad gäller undantagna verksamheter som till exempel inom försvaret – kan styras mer direkt av staten om så önskas. Flygplan under 5 700 MTOW är dock ett segment med relativt goda förutsättningar för elektrifiering, vilket möjligen skulle kunna motivera ökad styrning för att stimulera teknikutveckling snarare än för att den direkta utsläppseffekten är särskilt stor. Det kan också ses som en fråga om acceptans för klimatpolitiken att inte verksamheter som till exempel taxifyg, som har hög klimatpåverkan per passagerare men idag varken träffas av koldioxidskatt eller ETS1, lämnas utan styrning.

Innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden

Innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden hanteras genom offentlig finansiering till forskning och innovation, både på nationell och på EU-nivå (se kapitel 10). Dessa har dock en viss slagsida mot tidigare delar i innovationsprocessen, medan det finns färre finansieringsmöjligheter när nya lösningar ska introduceras på marknaden, då lösningen redan demonstrerats i mindre skala men då kostnader och risker fortfarande

²¹ Strikt talat borde uppräkningsfaktorn tillämpas på flygningar över den höjd där höghöjdseffekter uppstår, men av administrativa skäl kan det vara försvarligt att i stället tillämpa faktorn utifrån avstånd till destinationen – då flygplan på kortare sträckor inte hinner upp på tillräckligt höga höjder – i stället för att mäta det enskilda flygplanets höjd under varje flygning. Det går också att tillämpa undantag för flygplanstyper (såsom propellerplan) som inte är konstruerade för att överhuvudtaget kunna flyga på de höjder där höghöjdseffekter uppstår.

är högre än för mer mogna lösningar. Klimatklivet²² kan visserligen bidra till finansiering av investeringar utan krav på innovationshöjd, men detta stöd går till de investeringar som ger mest direkt klimatnytta per stödkrona. Investeringar som kräver högre stöd för den direkta klimatnyttan – men som i gengäld kan ge stor indirekt klimatnytta genom att pressa kostnaderna för efterföljare genom läreffekter – har därmed svårt att ta del av stödet.

Inom industrin har detta glapp lösts genom införandet av Industriklivet²³, som även kan stödja investeringar i uppskalning och kommersialisering. Inledningsvis var fokus just på att minska industrins egna utsläpp, men efterhand har stödet breddats så att stödet även kan gå till bland annat investeringar i industrin som minskar utsläppen i andra delar av samhället. Stödet kan alltså gå till investeringar i att producera flygbränslen med innovativa tekniker. Däremot kan stödet inte gå till exempelvis inköp av farkoster som nyttjar innovativa tekniker.

Stödet bidrar vidare endast till att täcka kostnader för själva investeringen, men inte till att täcka eventuella kostnadsgap i driften jämfört med en konventionell (fossil) lösning. Dessa är i stället tänkta att hanteras genom de styrmedel som prissätter miljöexternaliteterna, men precis som på samma sätt som innovativa lösningar inledningsvis kan vara för dyra för att hävda sig både i Klimatklivet och Industriklivet kan de ha svårt att bära sig enbart genom det pris som uppstår på en utsläppsmarknad, som driver fram de billigaste lösningarna först.

För att fullt ut hantera innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden inom luftfarten skulle det därför kunna vara motiverat med någon typ av stöd till uppskalning och kommersialisering av nya lösningar motsvarande Industriklivet. Inom luftfarten tycks omställningen av det kommersiella flyget i vart fall inom överskådlig tid nästan helt baseras på inblandning av fossilfria bränslen som inte kräver någon förändring av motorerna eller andra delar av själva flygplanet, varmed innovationsbehovet i stället hamnar i tillverkningen av dessa bränslen, vilka alltså redan kan få stöd genom Industriklivet. Dock finns fortsatt behov av ytterligare forskning och innovation även där. Lösningar som kräver nya flygplanstyper/motorer, såsom batteridrift och bränsleceller, ligger fortfarande en bit bort i tid (se kapitel 8) och där forskningsbehovet ännu mer tydligt. Mer om behovet av forskning och innovation finns i kapitel 10.

Nätverksexternaliteter

Klimatklivet kan ge stöd till laddinfrastruktur för flygplan och har i ett fåtal fall också gjort så. Klimatklivet, som baseras på klimatnytta per stödkrona, är dock egentligen inte den mest lämpade stödformen för publik laddinfrastruktur. För sådana investeringar beror klimatnyttan inte bara på den laddning som sker eller inte sker vid den enskilda laddstationen utan också på i vilken mån den tillkommande laddstationen stärker nätverket som helhet, vilket då ökar efterfrågan på laddfordon och därmed nyttan även av andra laddstationer. Stöd till publik laddinfrastruktur kan därmed behöva fördelas utifrån geografiska kriterier utöver de ekonomiska, vilket

²² Läs mer på: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/klimatklivet/>.

²³ Läs mer på <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/industri/industriklivet/>.

också görs i det stöd till laddinfrastruktur för tunga vägtransporter som ges genom Energimyndighetens program Regionala elektrifieringspiloter²⁴.

Något motsvarande specifikt stöd för laddinfrastruktur för flygplatser finns däremot inte i dagsläget, men å andra sidan ligger de flygplan som skulle kunna nyttja dessa laddmöjligheter ännu en bit fram i tiden. När de väl introduceras blir det rimligen dessutom på förutbestämda linjer och då behövs inget stort nätverk av publik infrastruktur utanför de flygplatser som de aktuella linjerna trafikerar för att det ska vara meningsfullt att introducera elflyg på dessa. Om/när el- och vätgasflyg ska implementeras i större skala finns däremot ett behov att koordinera utbyggnaden av infrastruktur. Mer om behovet av infrastruktur på flygplatser finns att läsa i kapitel 9.

Transaktionskostnader

Som påpekats ovan bedöms den dominerande lösningen för flygets omställning till fossilfrihet i vart fall i närtid vara öka inblandningen av hållbara flygbränslen. Detta kan förändras om batteridrift och så småningom vätgasdrift blir ett reellt alternativ, men i dagslägen handlar det framför allt om biobränslen och/eller elektrobränslen. Idag finns en diskrepans mellan det pris på SAF som köpare respektive producenter är villiga att acceptera och även mellan den längs på avtal som önskas från olika parter. Detta bidrar till att presumtiva producenter av nya bränslen inte vågar investera. Vi bedömer dock inte att det primära problemet här är höga sökkostnader för att hitta varandra utan snarare att det finns en osäkerhet om politiken kommer att ligga fast, vilket gör köparna mindre benägna att låsa sig i den typ av långsiktiga avtal som producenterna efterfrågar för att våga investera. Statens roll här blir då framför allt att säkerställa att fastlagda ambitioner (genom ReFuelEU Aviation och ETS1) inte urholkas utan att presumtiva producenter vågar lita på att den efterfrågan som dagens styrmedel bedöms skapa också kommer att realiseras den dag deras nya anläggningar står klara. Det kan dock också finnas ett behov av att stödja produktionen av bränslen i ett inledande skede. Mer om produktion och användning av SAF finns i kapitel 7.

Andra samhällsnyttor

Den samhällsekonomiska effektiviteten i styrningen kan inte bara bedömas utifrån dess klimatnytta, utan också om de ger andra nyttor för samhället. Vissa av de marknadsmisslyckanden som berörts ovan kan uttryckas i termer av ökade samhällsnyttor (till exempel från innovationer) snarare än minskade samhällskostnader (till exempel för andra miljöproblem än klimat), men frågan om nyttor handlar inte bara om förekomsten av marknadsmisslyckanden utan kan kopplas till samhällsmål oavsett på vilka grunder dessa satts upp.

En möjlig synergi med andra samhällsmål som särskilt förtjänar att framhållas i relation till luftfartens omställning till fossilfrihet är försvars- och beredskapsperspektivet. Just försvar brukar användas som skolexempel på en kollektiv nyttighet, en nytta som till sin natur är sådan att den inte kommer att tillhandahållas på rent marknadsmässiga grunder i en omfattning som vore samhällslyst önskvärd. Ambitionsnivån för försvaret, inklusive försörjningstryggheten för dess bränslen, blir därmed en politisk fråga.

Det finns även aspekter av beredskap och försörjningstrygghet som inte strikt talat kvalar in som marknadsmisslyckanden och som samhället ändå kan ha ett intresse av

²⁴ Läs mer på: <https://www.energimyndigheten.se/klimat/transporter/laddinfrastruktur/stod-att-soka-inom-laddinfrastruktur/regionala-elektrifieringspiloter/>.

att upprätthålla. Samhällets fossilberoende är problematiskt ur ett beredskapsperspektiv, inte bara då fossila bränslen inte är en långsiktig lösning utan också då fossilberoende innebär importberoende. Att ersätta fossila bränslen med fossilfria men ändå importerade bränslen eller bränsleråvaror är inte till någon större nytta i det kortare perspektivet, utöver den diversifiering det innebär att importera flera olika typer av bränslen i stället för ett fåtal. Att däremot ställa om till lösningar som kan försörjas av inhemsk energi, såsom elektricitet eller sådana bioråvaror som finns tillgängliga i Sverige, kan ur det perspektivet vara att föredra.

Det här perspektivet blir särskilt intressant för styrning som sker genom någon typ av stöd, som då kan utformas för att särskilt premiera lösningar som också har fördelar i beredskapstermer. För stöd som sker genom offentlig upphandling kan denna också riktas till sådana offentliga verksamheter som är särskilt kritiska och där den tillkommande beredskapsnyttan av inhemska fossilfria bränslen kan vara väl så stor som klimatnyttan. Detta talar för att det kan finnas stor potential i att genom försvarets upphandling av bränsle också kunna driva fram fossilfria inhemska leveranskedjor där sådana saknas eller är otillräckliga för att möta försvarets behov. FOI (2021) bedömer att försvarets omställningsarbete bör prioritera flygvapnet, bland annat då denna försvarsgren använder mest bränsle och dessutom av en enhetlig typ. Detta ger goda förutsättningar att använda upphandlingen av bränsle till flygvapnet för att stärka produktion av fossilfria inhemska flygbränslen. Mer om försvarets potential att bidra i omställningen till fossilfrihet finns i kapitel 11.

6.3 Sammanfattande reflektioner

Luftfarten präglas av flera samhällsekonomiska hinder och marknadsmisslyckanden som motiverar statliga styrmedel eller stöd. Den viktigaste grunden är miljöexternaliteter: flygets klimatpåverkan, andra växthusgaser, höghöjdseffekter, buller och påverkan på ekosystem prissätts inte fullt ut av marknaden. När endast vissa utsläpp omfattas av prissättning (till exempel inom ETS1) uppstår ineffektiv styrning och utsläppen blir högre än vad som är samhällsekonomiskt optimalt. Dessutom riskerar en ensidig klimatstyrning att förbise andra miljöeffekter längs bränslekedjan, vilket kan leda till suboptimala teknikval.

Därtill skapas samhällsekonomiska behov av styrning genom innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden: privata aktörer har svaga incitament att investera i ny teknik när kunskapsläckage gör att avkastningen blir lägre än den samhälleliga nyttan. Tekniker som är initialt dyrare men långsiktigt mer kostnadseffektiva riskerar att inte utvecklas utan statlig medverkan, särskilt vid övergången från demonstration till kommersiell skala. När det kommer till hållbara flygbränslen är det kanske framför allt i produktionsledet som behovet av stöd är tydligast. För utvecklingen av el- och vätgasflyg finns däremot behov av ytterligare stöd till forskning och innovation.

Utöver externaliteter och innovationshinder uppstår behov av styrning när andra marknadsproblem påverkar omställningen till fossilfrihet. Nätverkseffekter är mindre betydelsefulla för luftfarten än för vägtrafiken, men viss infrastruktur såsom laddning eller vätgastillgång på utvalda flygplatser kan ändå kräva initiala offentliga insatser. Transaktionskostnader kan också motivera stöd, särskilt då producenter och köpare av fossilfria flygbränslen har svårt att ingå långsiktiga avtal i en situation med

hög politisk osäkerhet. Staten kan här bidra genom att stärka förutsägbarheten i styrningen.

Slutligen kan stöd motiveras av andra samhällsnyttor som inte fångas av klimatmål, särskilt beredskap och försörjningstrygghet: inhemsk produktion av fossilfria bränslen och elektrifierade lösningar kan minska importberoendet och stärka totalförsvaret. Dessa samhällsekonomiska motiv tillsammans talar för att kompletterande styrmedel eller stöd skulle kunna bidra till att omställningen till fossilfrihet sker både snabbare och mer effektivt än vad marknaden själv åstadkommer.

7 Användning och produktion av hållbara flygbränslen

Hållbara flygbränslen (eller Sustainable Aviation Fuels, SAF) är avgörande i omställningen mot en fossilfri luftfart och det huvudsakliga medlet för att minska växthusgasutsläppen på kort sikt då det är kompatibelt med dagens teknik och infrastruktur. Enligt internationella flygtransportföreningen (IATA) kan användningen av SAF minska utsläppen med upp till 80 procent jämfört med fossilt flygbränsle och SAF förväntas stå för cirka 65 procent av de totala utsläppsminskningarna inom den globala luftfarten för att uppnå nettonollutsläpp till 2050 (IATA, 2025). Internationella civila luftfartsorganisationen (ICAO) pekar också ut SAF som den lösning som har störst potential att minska utsläppen från internationell luftfart (ICAO, 2025a).

För att möjliggöra detta måste dock utbudet av SAF öka kraftigt. Produktionen av SAF var år 2024 endast cirka 0,5 procent av den globala användningen av flygbränsle (EASA, 2025a). Enligt uppskattningar från IATA måste tillgången på SAF gå från cirka åtta miljarder liter 2025 till 449 miljarder liter 2050, alltså en ökning med 560 procent (IATA, 2025).

I Sverige används i dagsläget främst fossila bränslen såsom flygfotogen Jet A1. År 2024 var den förnybara energiandelen 3,8 procent (Energimyndigheten, 2025c).

7.1 Olika produktionstekniker och dess klimatpåverkan

År 2024 fanns det elva certifierade produktionsvägar för SAF, varav tre utgörs av medprocessering av fossilfria insatsvaror inom oljeraffinaderier (EASA, 2024). EASA lyfter specifikt fyra sätt att producera SAF som kommer spela en stor roll i framtiden inom luftfartens omställning till fossilfrihet (EASA, u.d.-a):

- HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) görs av avfalls- och restfetter, såsom använd matolja och animaliska fetter, samt kan framställas från förädling av vissa grödor.
- AtJ (Alcohol to Jet) framställas genom att syntetisera alkohol från till exempel jordbruksrester, energigrödor eller avfall. Alkoholen omvandlas sedan till flygbränsle genom kemiska processer.
- Biomassaförgasning med Fischer–Tropsch-syntes (Gas+ FT) görs av gaser av liknande material som AtJ.
- PtL (Power-to-Liquid) är en produktionsteknik för syntetiska bränslen, också så kallade eSAF (elektro-SAF). Vätgas produceras med hjälp av elektrolys vilket sedan kombineras med koldioxid som skapar syntesgas, vilket kan omvandlas till SAF. Processen är energikrävande men minskar utsläppen vid förbränning avsevärt.

Att använda SAF leder inte till att utsläppen elimineras helt. Utsläpp mäts med fördel genom så kallade LCA-utsläpp, alltså utsläpp för hela livscykeln från produktion, distribution, konsumtion till avfall. Utsläppen beror mycket på vilken typ av insatsvara som används men även bland annat på vilken teknik och hur distributionskedjan inklusive transporter ser ut för de olika bränslena. Som nämnts kan SAF bidra till betydande utsläppsminskningar men hur stora dessa minskningar blir varierar mellan olika typer av SAF (ICAO, 2025c).

7.2 Olika definitioner av hållbart flygbränsle

Certifiering är i det här sammanhanget en avgörande fråga för att säkerställa att det bränsle som används är hållbart, uppfyller regelverk och kan bidra till att uppnå de klimatmål som finns. Det handlar både om klimatnytta, spårbarhet och regelöverensstämmelse. Kraven på vad som anses vara hållbart flygbränsle kan skilja sig något åt mellan olika regelverk, vilket kan skapa en viss osäkerhet på marknaden. I kombination med en osäkerhet kring långsiktigheten i den internationella styrningen kan detta också bidra till att investerare inte vågar fatta investeringsbeslut för produktionsanläggningar.

Hållbarhetskriterier och definitionen av SAF skiljer sig som sagt åt mellan olika system och regelverk. Som beskrivs i Bilaga 2 och avsnitt 4.6.1 definieras SAF inom EU enligt lagstiftningen i ReFuelEU Aviation och förnybartdirektivet. Alla tekniker som beskrivits i avsnitt 7.1 kan användas för att uppfylla kraven i ReFuelEU Aviation, förutsatt att insatsvarorna och produktionen uppfyller kraven i förnybartdirektivet. Generellt gäller att råvaror som är avfall eller restprodukter från annan verksamhet är tillåtna, medan produkter som kan användas inom andra områden, exempelvis grödor som skulle kunna användas för livsmedelsproduktion, inte definieras som hållbart flygbränsle.

Enligt CORSIA definieras hållbara flygbränslen enligt hållbarhetskriterier kopplade till 14 principer och teman (se Bilaga 1). Exempelvis är den första principen att SAF bör ge lägre koldioxidutsläpp sett över hela livscykeln vilket ska uppfyllas genom kriteriet att SAF ska uppnå en nettoreduktion av växthusgasutsläpp på minst tio procent jämfört med referensvärdena för livscykelutsläpp från fossilt flygbränsle (ICAO, 2025d).

Det ska noteras att kraven i ReFuelEU Aviation angående exempelvis vilka råvaror som får användas för hållbara flygbränslen är striktare än för CORSIA, där det exempelvis är tillåtet att använda olika grödor inom produktionen så länge de uppfyller vissa krav. Vissa bränslen som definieras som hållbara enligt CORSIA definieras inte som det enligt EU-standard.

7.3 Inblandningsnivåer för SAF

Dagens godkända SAF begränsar möjliga inblandningsnivåer, upp till 50 procent, beroende på typ av SAF. Arbete pågår med att utforma standarder för 100 procent användning av SAF, med målsättningen att ha bränslestandarder redo senast 2030.

Europeiska unionens byrå för luftfartssäkerhet (EASA) lyfter inom detta arbete två typer av bränslestandarder i syfte att möjliggöra framtida användning av 100 procent hållbart flygbränsle (EASA, u.d.-a).

Det första alternativet är 100 procent drop-in SAF, vilket innebär ett bränsle som helt består av syntetiska kolväten och är kemiskt identiskt med konventionellt bränsle. Detta bränsle kan användas direkt i befintliga flygplansmotorer och infrastruktur. För att möjliggöra 100 procent drop-in SAF kan man antingen blanda flera godkända SAF-typer för att uppnå rätt egenskaper, eller utveckla nya processer och råvaror som ger ett färdigt bränsle i ett enda produktionsflöde. (EASA, u.d.-a). Under de senaste två åren har flera lyckade testflygningar med 100 procent drop-in SAF genomförts²⁵.

Det andra alternativet är 100 procent non-drop-in SAF, vilket är ett aromatfritt syntetiskt bränsle som liknar fossilt flygbränsle men som kräver en ny specificerad bränslestandard och en separat distributionskedja. En fördel med 100 procent non-drop-in SAF är att det minskar icke-koldioxidrelaterade klimatpåverkande effekter, såsom kondensstrimmor och partiklar. (EASA, u.d.-a).

7.4 Produktion av SAF

Luftfartens omställning till fossilfrihet är i hög grad beroende av att det finns tillräckliga mängder fossilfria bränslen till konkurrenskraftiga priser, något som i dag utgör ett av de största hindren för utvecklingen. De inblandningskrav som finns inom ReFuelEU Aviation kommer att kräva en ambitiös utbyggnad av produktionskapacitet i Europa (EASA, 2025b). Fördelen med de inblandningskrav som ställs är att de skapar en känd efterfrågan, vilket skulle kunna motivera marknadsaktörer att våga investera för att möta den efterfrågan, det vill säga investera i produktionsanläggningar. Det är dock osäkert huruvida nuvarande politiska åtgärder är tillräckliga för uppbyggnad av produktionskapacitet. Trots ökande styrning är den planerade produktionen av fossilfria bränslen långt ifrån den nivå som krävs för att möta framtida behov.

Trots att SAF är avgörande för utsläppsminskningar på kort och medellång sikt, finns idag endast en bråkdel av den volym som ReFuelEU Aviation och långsiktiga klimatmål kräver och på grund av osäkerheter fattas inte de investeringsbeslut som behövs för att dra i gång produktion i någon större skala. Produktionskostnaderna är höga, investeringarna kapitaltunga, det finns osäkerheter kring vilka bränslen som kommer anses vara hållbara i framtiden och de långsiktiga politiska spelreglerna upplevs som osäkra. Detta gör att bränsleproducenter tvekar inför att bygga nya anläggningar eller expandera befintliga. Samtidigt finns konkurrens om bränsleråvaror, särskilt för hållbara biobränslen, samtidigt som syntetiska bränslen kräver tillgång på fossilfri el. På grund av den höga kostnaden för SAF finns också en diskrepans mellan den risk flygbolag respektive producenter är villiga att ta.

HEFA är den mest etablerade och dominerande tekniken för SAF idag, både globalt och inom EU (IATA, 2024b). År 2024 bestod 98 procent av råvarorna till det SAF som levererades inom EU av använd frityrolja och avfall från animaliskt fett, Närmare 70 procent av dessa råvaror kom från länder utanför EU, främst Kina och Malaysia

²⁵ Se exempelvis <https://corporate.virginatlantic.com/gb/en/media/press-releases/worlds-first-sustainable-aviation-fuel-flight.html>.

(EASA, 2025c). Samtidigt används denna typ av råvaror, som krävs till HEFA, även som råvaror för att göra annat biobränsle, såsom HVO, till bland annat vägtransport och sjöfart. (EU-kommissionen, 2025b). I och med ökande krav kommer också ökade behov av förnybara råvaror vilket kan skapa en flaskhals i omställningen till fossilfrihet om det inte är möjligt att använda en bred råvarubas. Det kommer sannolikt finnas både ett fortsatt behov av import av råvaror och ett ökat nyttjande av svenska råvaror.

På kort sikt är sannolikt HEFA en grund för luftfartens omställning till fossilfrihet men inom ReFuelEU Aviation krävs även att en viss del av det hållbara bränslet är syntetiska flygbränslen från 2030. Teknik för syntetiskt bränsle, såsom PtL, måste alltså bli en del av marknaden men är i dagsläget väldigt dyr och kräver stora mängder energi.

En lägesbild över utvecklingen i Europa avseende e-SAF²⁶ specifikt gavs i juni 2025. Då skrev mer än 50 aktörer med intressen i utvecklingen av en e-SAF-sektor, däribland flygplanstillverkarna Airbus och Boeing samt en rad flygbolag, under ett gemensamt brev (Project SkyPower, 2025). I brevet, som riktar sig till regeringar i europeiska länder, efterlyser aktörerna mer stöd i syfte att skapa en marknad för e-SAF. Bakgrunden till brevet är att e-SAF pekats ut av EU som viktig för luftfartens omställning till fossilfrihet, och ett styrmedel för omställningen är på plats i form av ReFuelEU Aviation. Trots detta, och trots att Europa huserar majoriteten av världens projekt som syftar till produktion av e-SAF, har inget projekt hittills nått investeringsbeslut. För att råda bot på bristen av produktionskapacitet förslår aktörerna i brevet ett system med dubbelsidiga auktioner (se avsnitt 7.5).

7.5 Stöd för produktion av hållbara flygbränslen

Detta uppdrag har varit avgränsat till användarsidan och inte hur produktion av bränslen kan stödjas, även om det kan finnas sådan indirekt effekt av olika förslag. Med tanke på den brist på produktion som finns idag och det stora kostnadsgapet mellan fossila och fossilfria bränslen behövs dock sannolikt någon form av stöd för att säkerställa att fossilfria bränslen faktiskt finns tillgängliga för att möta de krav som ställs. Djupare analys och förslag på utformning lämnas inte i detta uppdrag då det hanteras i en separat utredning där utredaren ska analysera och föreslå hur tillgången till hållbara, fossilfria och koldioxidsnåla drivmedel för sjöfarten och luftfarten i Sverige kan främjas (Landsbygds- och infrastrukturdepartementet, 2025a).

Över lag bedöms existerande styrmedel som otillräckliga för att leda till de investeringar i bränsleproduktion som behövs för att uppfylla de krav som ställs. En möjlig stödform för att främja produktionen är dubbelsidiga auktioner. En dubbelsidig auktion skulle kunna adressera två centrala problem, (1) att producenter behöver långsiktiga köpeavtal för att säkra finansiering och minska risken i produktion av bränslet samt (2) att köpare behöver kortsiktig flexibilitet för att inte låsa in sig i alltför höga priser initialt när produktionskapaciteten är begränsad och marknaden outvecklad. I ett system med dubbelsida auktioner skulle en mellanhand som backas

²⁶ e-SAF är en typ av syntetiskt flygbränsle, specifikt producerad med förnybar el, elektrolytisk vätgas och infångad koldioxid.

upp av det offentliga ingå långsiktiga kontrakt på exempelvis tio år med producenter så att produktionskapacitet kan skalas upp och samtidigt sälja den produktion som sker på kortare kontrakt om 3–5 år till köpare. Skillnaden mellan vad producenter behöver för att producera och vad köpare är villiga att betala skulle i ett sådant system utgöra motsvarande en subvention, men själva auktionssystemet ska borgen för att subventionen hålls på en så låg nivå som möjligt genom konkurrens mellan aktörer på båda sidor marknaden: utbud samt efterfrågan. Det finns dock även andra stödformer som alla har sina för- och nackdelar. I detta uppdrag har inte gjorts någon bedömning av vad som är den mest lämpliga stödformen.

Svenska aktörer bör dock också i större utsträckning söka EU-stöd för att dra nytta av de ökade stödvolymerna som syftar till att främja EU:s konkurrenskraft. I dagsläget beskrivs från aktörernas sida att EU-stöd ofta har komplexa ansökningsprocesser som gör att de kan vara svårtillgängliga för mindre aktörer.

I november 2025 presenterade EU-kommissionen en plan för investeringar inom transportområdet som syftar till att främja EU:s hållbarhets- och klimatmål, Sustainable Transport Investment Plan (EU-kommissionen, 2025c). Åtgärder för att främja investeringar som stödjer sjö- och luftfartens omställning till fossilfrihet utgör betydande del av planen. Utgångspunkten för kommissionens förslag är målen i FuelEU Maritime (Förordning 2023/1805) och ReFuelEU Aviation (Förordning 2023/2405), och att efterfrågan på bränslen från dessa förordningar på grund av försörjningstrygghet måste mötas av produktion i EU snarare än att importeras från utanför unionen.

Flera åtgärder i planen ska totalt mobilisera 2,9 miljarder euro till slutet av 2027. Bland annat ska 300 miljoner euro i den kommande tredje europeiska vätgasauktionen öronmärkas till projekt som syftar till att leverera bränslen till sjö- och luftfarten och 133 miljoner euro avses fördelas till forskning- och innovationsprojekt kopplade till förnybar bränsleteknologi. I planen aviserade kommissionen lanseringen av ett pilotprojekt, eSAF Early Movers Coalition. Detta pilotprojekt lanserades i december 2025 av Österrike, Finland, Frankrike, Tyskland, Luxemburg, Nederländerna, Portugal och Spanien. Syftet med sammanslutningen är att delta i att skapa en mekanism för dubbelsida auktioner och att den första auktionen omfattandes minst 500 miljoner euro ska genomföras under 2026. Sverige bör verka för att svenska aktörer tar del av dessa satsningar i den mån det är möjligt och bedöms lämpligt.

7.6 Stöd för användning av hållbara flygbränslen

Stöd till användning av hållbara flygbränslen (SAF) skulle på kort sikt kunna öka efterfrågan och göra det ekonomiskt möjligt för flygbolag att börja blanda in mer SAF, trots det stora kostnadsgapet gentemot fossilt flygbränsle. Sådana stöd kan också ge viktiga marknadssignaler och bidra till att SAF börjar användas mer brett och därigenom också främja en ökad produktion. Luftfarten är dock styrd av komplexa internationella regelverk och det är svårt att utforma och implementera styrmedel för ökad användning av SAF som bidrar till ytterligare additionalitet. Den största begränsningen i luftfartens omställning till fossilfrihet är inte viljan att använda hållbara flygbränslen, utan den mycket begränsade produktionen och därmed

höga kostnaden. Bedömningen är att den avgörande klimatnyttan och systemeffekten snarare kommer från stöd till produktion av SAF eftersom det är där den centrala flaskhalsen i omställningen till fossilfrihet finns. Nedan ges dock några exempel på möjliga sätt att stödja användningen av SAF.

7.6.1 Riktat stöd för ökad inblandning av SAF

I Danmark finns ett riktat stöd för användningen av SAF för inrikes flyg. Stödet är det första stöd som erhållit godkännande från EU-kommissionen för att främja användningen av SAF, och bygger på en parlamentarisk majoritetsöverenskommelse från 2023 om att accelerera flygsektorns omställning. I augusti 2025 meddelade Trafikstyrelsen i Danmark att flygbolaget Norwegian gått vinnande ur auktionen. Med start 1 mars 2026 förväntas de genomföra 90 procent av sina inrikesflyg mellan Aalborg och Köpenhamn, en sträcka på cirka 220 kilometer, med minst 40 procents inblandning av SAF. Stödet gäller till 31 december 2027, men om nya certifieringar höjer tillåten inblandning över dagens max på 50 procent före 1 juli 2026 avslutas kontraktet vid årsskiftet 2026 och en ny upphandling görs för 2027 (EU-kommissionen, 2025d; Skatteministeriet, 2023).

Syftet med stödet är att bistå flygbolag att täcka den extra kostnad det innebär att driva inrikesflyg med ökad inblandning av SAF i stället för konventionellt flygbränsle. Stödet täcker förutom merkostnaden för bränslet även tillkommande kostnader associerade med SAF, som till exempel bränsleinfrastruktur, blandning eller transport och uppgår till totalt 186 miljoner danska kronor. EU-kommissionen har godkänt statsstödet eftersom det anses nödvändigt för att minska utsläpp i enlighet med EU:s mål, ger incitament att använda SAF på en nivå som inte hade skett utan statligt stöd och är utformat på ett sätt som har begränsad påverkan på konkurrensen samt är proportionerligt genom upphandling. Danmark garanterar att stödet leder till faktiska utsläppsminskningar och inte enbart flyttar utsläppen från en källa till en annan (EU-kommissionen, 2025d).

Omfattningen av detta stöd är begränsat (en flyglinje) och det förväntas därmed inte bidra till minskade utsläpp eller utökad produktion i någon stor skala. Det som det kan bidra med är att skapa ett signalvärde som också skulle kunna bidra till att öka andra aktörers vilja att ställa om. Energimyndighetens initiala bedömning är dock att det sannolikt är svårt att utforma ett riktat stöd som är mer omfattande (inkluderar fler flyglinjer) och få ett statsstödsgodkännande för detta. Om ett stöd liknande det danska skulle införas i Sverige skulle det därmed kunna förväntas ha begränsad effekt. Det framstår därför som mer effektivt att i stället stödja produktionen av hållbara bränslen direkt.

7.6.2 Upphandlad luftfart

Inom inrikesflyget står staten för en viss del genom den allmänna trafikplikten, där staten upphandlat flygtrafik för tolv sträckor under perioden 2023–2027 (Trafikverket, 2025a). År 2024 flög drygt 137 000 passagerare (Trafikverket, 2025a) på dessa flyglinjer, vilket kan sättas i relation till de drygt 4,2 miljoner passagerare som totalt flög inrikes. Den upphandlade trafiken utgjorde därmed endast cirka tre procent av den totala inrikesflygtrafiken.

I och med att den statligt upphandlade flygtrafiken utgör en mycket liten del av den svenska inrikesflygtrafiken utgör det därmed även en begränsad del av utsläppen. Även om miljökrav i upphandling skulle kunna ge ett signalvärde och bidra till att

driva utvecklingen, är det i dagsläget juridiskt osäkert om sådana krav är tillåtna enligt EU:s lufttrafikförordning (Förordning 1008/2008). Kommissionen har bedömt att miljökrav inte kan ställas som krav i upphandlingen, utan endast som tilldelningskriterier, men frågan har ännu inte prövats rättsligt. Förordningen är under översyn, vilket öppnar för att frågan kan aktualiseras vid en framtida revidering, men det måste vägas mot andra intressen som tillgänglighet och konkurrensneutralitet.

Mot denna bakgrund framstår det som mer effektivt att rikta insatser mot att främja produktionen av hållbara flygbränslen. Genom att stimulera produktionen kan man inte bara öka den generella tillgången på SAF, utan också skapa förutsättningarna för att upphandlad trafik i större utsträckning använder fossilfria bränslen i framtiden. Ett sådant angreppssätt ger sannolikt större klimatnytta och systemeffekt än att försöka införa miljökrav i upphandling under nuvarande regelverk.

7.6.3 Upphandling av SAF till offentliga tjänsteresor

Att upphandla hållbara flygbränslen för offentliga sektorns tjänsteresor skulle kunna vara ett sätt att stimulera efterfrågan och ge en tydlig signal om att staten går före i omställningen till fossilfrihet. På detta sätt kan staten eller andra offentliga aktörer bidra till att öka användningen och skapa incitament för flygbolag att erbjuda fossilfria alternativ. Detta skulle också kunna stärka marknadens förtroende för att efterfrågan på SAF är långsiktig. Regeringen har redan beslutat i regleringsbrevet 2026 till 60 myndigheter att de ska redovisa hur de säkerställer färdmedelsneutrala tjänsteresor samt redovisa huruvida myndigheten köpt in hållbart flygbränsle till organisationens flygresor. Många flygbolag erbjuder redan idag olika möjligheter för passagerare att köpa till fossilfritt eller hållbart flygbränsle. Regeringen vill få en lägesbild om och i vilken utsträckning myndigheterna utnyttjar denna möjlighet (Landsbyggs- och infrastrukturdepartementet, 2025b).

Samtidigt finns flera osäkerheter och utmaningar med en sådan lösning. För det första är det svårt att säkerställa additionalitet, det vill säga att stödet verkligen leder till mer produktion och utsläppsminskningar och inte bara omfördelar befintliga volymer. Dessutom finns juridiska och praktiska hinder vilket gör att införandet kan bli komplext. Mot denna bakgrund framstår det även i detta fall som mer effektivt att rikta insatser mot att främja produktionen av SAF.

7.7 Sammanfattande reflektioner

Hållbara flygbränslen är idag den centrala lösningen för att snabbt minska flygets klimatpåverkan då de kan användas direkt i befintliga flygmotorer och distributionssystem, utan att ny infrastruktur behövs. Internationella organisationer som IATA och ICAO bedömer att SAF kommer stå för majoriteten av flygets utsläppsminskningar fram till 2050, men produktionen ligger fortfarande mycket långt från behovet. Trots att de finns flera certifierade tekniker såsom HEFA, AtJ, Fischer-Tropsch och Power-to-Liquid, är SAF endast en bråkdel av den globala bränsleanvändningen. Olika SAF-tekniker ger varierande klimatnytta beroende på råvara, energikälla och produktionsprocess, och strikta hållbarhetskriterier inom EU begränsar vilka råvaror som räknas som hållbara. Kraven på vad som anses vara hållbart flygbränsle kan också skilja sig åt mellan olika regelverk, vilket kan skapa en viss osäkerhet på marknaden. I kombination med en osäkerhet kring långsiktigheten i den internationella styrningen kan detta också bidra till att investerare inte vågar fatta

investeringsbeslut för produktionsanläggningar. Därtill är dagens standarder begränsade till 50 procent inblandning, även om arbetet för att möjliggöra 100 procent SAF pågår och flera testflygningar redan genomförts.

Den stora flaskhalsen är inte tekniken utan marknadsförutsättningarna: kostnaderna är mycket högre än för fossilt bränsle, investeringar är riskfyllda och råvarutillgången (särskilt för HEFA) är begränsad och konkurrensutsatt. ReFuelEU Aviation skapar en växande, obligatorisk efterfrågan, men detta ser inte ut att räcka för att få produktion att realiseras i stor skala, särskilt för de mer avancerade och långsiktigt nödvändiga teknikerna som exempelvis e-SAF. För att skala upp krävs långsiktigt stabil politik och sannolikt ett produktionsstöd som minskar risken för investerare.

8 Tekniker i framtidens luftfart

Utöver utvecklingen av mer hållbara bränslen förväntas även nya tekniska lösningar och framdrivningsmetoder spela en viktig roll i framtidens luftfart och bidra till minskade utsläpp. De flesta av dessa tekniker befinner sig dock fortfarande i ett tidigt utvecklingsskede och omfattas i dagsläget av tekniska och operativa utmaningar vilket gör att de inte förväntas kunna introduceras i större skala förrän på längre sikt.

I detta kapitel presenteras några av de mest aktuella alternativen: elflyg, vätgasflyg (inklusive bränsleceller) samt olika typer av hybridlösningar. Genomgången fokuserar på deras tekniska förutsättningar, potential att introduceras i luftfarten och möjligheter att bidra till utsläppsminskningar, liksom på de hinder och utmaningar som återstår. Även andra framväxande tekniker, såsom luftfartyg med vertikal start och landning, behandlas översiktligt.

8.1 Elflyg

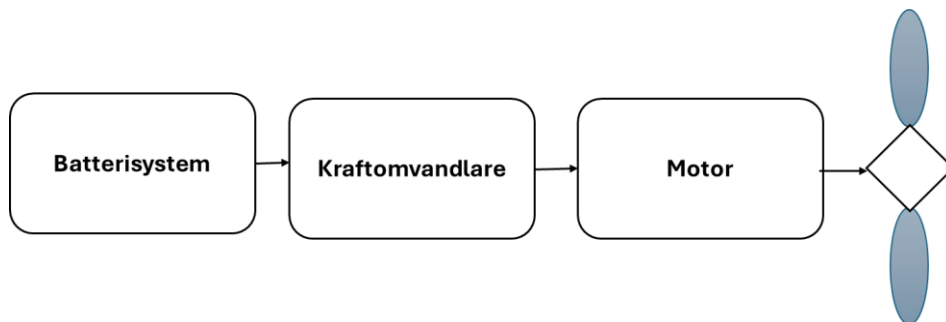
Elflyg har blivit ett viktigt forskningsområde på grund av flygindustrins snabba tillväxt och ökande utsläpp av växthusgaser. Trots stor potential att minska utsläppen begränsas utvecklingen av tekniska och regelmässiga utmaningar. Helt eldrivna flygplan förväntas inte, under en överskådlig framtid) kunna introduceras på längre internationella flygningar på grund av begränsningar i räckvidd och har därför inte någon större roll i framtida scenarier över hur flygsektorn ska ställa om globalt. Däremot kan denna teknik spela en större roll på kortare regionala flygsträckor. Detta avsnitt beskriver översiktligt de viktigaste tekniska koncepten för elflyg, inklusive hybridlösningar, och diskuterar deras fördelar och utmaningar.

8.1.1 Klassificering av olika elektriska framdrivningssystem

Eldrivna flygplan klassificeras utifrån hur deras drivsystem är konstruerade och i vilken grad olika energikällor används. Elflyg kan delas in i tre huvudkategorier: helelektriska, turboelektriska och hybridelektriska flygplan.

Helelektriska flygplan

Drivlinan i ett helelektriskt flygplan består huvudsakligen av uppladdningsbara batterier som via ett krafthanteringssystem driver en elektrisk motor kopplad till en propeller eller fläkt (se Figur 14). All energi för framdrivning kommer från batterierna, som måste laddas på marken före varje flygning. (Adu-Gyamfi & Good, 2022).



Figur 14 Konfiguration för helelektriskt flygplan

Källa: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Denna teknik erbjuder flera fördelar. Helelektriska flygplan har potential att helt eliminera utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser, såsom kväveoxider och vattenånga, under flygning. De är dessutom betydligt tystare än konventionella flygplan, vilket minskar buller och förbättrar miljön kring flygplatser. Elektrisk framdrivning kan även ge lägre drift- och underhållskostnader tack vare enklare konstruktion och färre rörliga delar. Elmotorer har en mycket hög verkningsgrad, i genomsnitt omkring 90 procent, vilket innebär att 90 procent av den tillförda energin omvandlas till nyttig rörelseenergi. (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Trots dessa möjligheter finns det flera begränsningar. Den största utmaningen är batteriernas låga energitäthet och höga vikt, vilket kraftigt begränsar räckvidden. Litiumjonbatterier har upp till 48 gånger lägre energitäthet än flygbränsle (Adu-Gyamfi & Good, 2022), och eftersom batterier inte förbrukas under flygning, behåller flygplanet sin fulla batterivikt under hela flygningen. Detta påverkar prestanda, inklusive start- och landningssträckor (Kusmierek, Galinski, & Stalewski, 2023). För att möjliggöra ett eldrivet flygplan i samma klass som dagens Airbus A320 krävs en energitäthet på omkring 800 Wh/kg²⁷ – en nivå som dagens batteriteknik ännu inte når. Faktum är att 92 procent av den nuvarande globala flygplansflottan inte skulle kunna lyfta med dagens batterier på grund av viktbegränsningar (Adu-Gyamfi & Good, 2022). Helelektriska flygplan är i närtid därför begränsade till lättare flygplan och kortare rutter.

Batterier innebär även säkerhetsrisker, exempelvis överhettning och termisk rusning (en okontrollerad temperaturökning som kan leda till brand). En annan teknisk utmaning är värmehantering av elektriska komponenter. Höga strömmar och likspänningar kan orsaka isoleringsproblem samt risk för elektromagnetiska störningar och bristande elektromagnetisk kompatibilitet (att systemen fungerar utan att störa varandra) (Adu-Gyamfi & Good, 2022) (Staack, Sobron, & Krus, 2021).

De positiva miljöeffekterna från minskade utsläpp behöver också vägas mot den resursintensiva batteritekniken och det betydande behovet av exempelvis sällsynta mineraler som möjliggör elektrisk framdrivning. Forskare vid Chalmers har genomfört en livscykelanalys av ett tvåsitsigt elflygplan och jämfört det med ett motsvarande fossildrivet flygplan. Analysen visar att faktorer såsom elflygplanets livslängd, samt hur tekniken tillverkas och vilka resurser som används, till och med

²⁷ I relation är nettoinnehållet i fossilt flygbränsle cirka 3 700 Wh/kg, med hänsyn till verkningsgraden i små turbinmotorer (Trafikanalys, 2020).

kan leda till att elflyget ger upphov till högre utsläpp ur ett livscykelperspektiv än ett fossildrivet alternativ (Arvidsson, Nordelöf, & Brynolf, 2024).

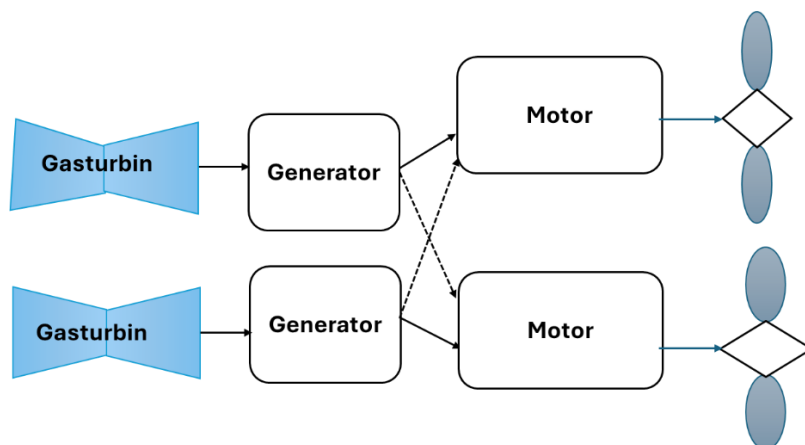
Helelektrisk framdrivning bedöms i dagsläget som olämplig för större kommersiell luftfart, men kan vara ett alternativ för små flygplan inom allmänflyget och för pendlartrafik med upp till tolv passagerare på rutter under 500 kilometer. Trots att kortdistansflygningar är vanliga, står de endast för cirka fem procent av luftfartens totala energiförbrukning (Adu-Gyamfi & Good, 2022).

Marknaden för mycket korta flygsträckor är begränsad, främst på grund av konkurrens från markbundna transportmedel. Elflyg är dessutom känsliga för väderförhållanden vid låg marschhöjd och hastighet, vilket kan försämra passagerarkomforten, öka risken för isbildning och leda till fler inställda avgångar vilket gör förutsättningarna ännu svårare (Staack, Sobron, & Krus, 2021).

Turboelektrisk framdrivning

Turboelektrisk framdrivning är ett koncept som möjliggör elektrifiering av flygplans framdrivningssystem utan att vara beroende av batterier. Däremot behövs någon typ av bränsle för dessa typ av plan. Det finns två huvudsakliga varianter: fullturboelektrisk och partiell turboelektrisk framdrivning.

I en fullturboelektrisk lösning används en eller flera gasturbiner för att generera elektricitet. Turbinen driver en generator som omvandlar all mekanisk energi till el, vilken sedan fördelas till elmotorer som driver propellrar eller fläktar. (Adu-Gyamfi & Good, 2022) (Kusmieriek, Galinski, & Stalewski, 2023) Se Figur 15. I ett partiellt turboelektrisk plan produceras majoriteten av dragkraften av elmotorer med propellrar, men minst en propeller drivs fortfarande mekaniskt direkt av förbränningsmotorn (Kusmieriek, Galinski, & Stalewski, 2023). Denna hybridlösning kan ge en bra balans mellan effektiv elektrisk drift och extra driftsäkerhet, men gör systemet mer komplext.



Figur 15 Konfiguration för turboelektriskt flygplan.

Källa: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Turboelektriska system har visserligen effektförluster eftersom energin omvandlas från mekanisk till elektrisk och tillbaka till mekanisk energi, men de kan ändå ge betydande fördelar när de kombineras med nya flygplanskoncept. Det kan exempelvis ge förbättrad aerodynamik genom minskat luftmotstånd, lägre motorbehov och ökad total energieffektivitet. Jämfört med konventionell teknik har turboelektrisk

distribuerad framdrivning uppskattats kunna öka farkostens effektivitet med upp emot fjärdedel vilket leder till en halvering i utsläpp. Flygplanet har inga batterier för att lagra energi, vilket gör att det undviker den begränsning som batteriers låga energitäthet innebär. Denna lösning är särskilt intressant att först introducera inom regionalflyg och mindre flygplan, där det finns potential att minska utsläppen betydligt (Adu-Gyamfi & Good, 2022).

Hybridelektriska flygplan

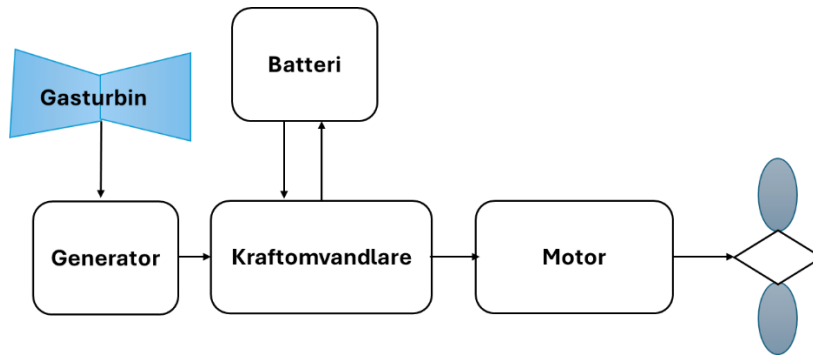
Dessa flygplan kombinerar gasturbinmotorer och batterier för framdrivning, vilket ger lägre bränsleförbrukning än konventionella flyg och längre räckvidd än helelektriska. Beroende på konfiguration kan dragkraften komma från båda systemen eller enbart från det ena under olika faser av flygningen för optimal effektivitet. (Adu-Gyamfi & Good, 2022) (Kusmieriek, Galinski, & Stalewski, 2023). Det finns flera olika hybrida konfigurationer vilket inkluderar seriehybrid, parallellhybrid samt en kombination av dessa.

Seriehybridkonfiguration

I en seriehybridkonfiguration är gasturbinen inte kopplad till propellern utan driver en generator som omvandlar mekanisk energi till elektricitet. Elen används direkt för att driva motorerna eller lagras i batteriet, som också bidrar till framdrivningen. (Adu-Gyamfi & Good, 2022) (Kusmieriek, Galinski, & Stalewski, 2023). En schematisk illustration av en seriehybridkonfiguration visas i Figur 16.

Gasturbinen kan arbeta vid optimal effekt under hela flygningen, vilket minskar bränsleförbrukningen jämfört med en parallellhybrid. Utsläppsminskningarna från seriehybridkonfiguration har uppskattats till cirka 25 procent i jämförelse med den mest effektiva tillgängliga tekniken idag (Adu-Gyamfi & Good, 2022). Systemet är enklare, kräver mindre utrymme och ger större flexibilitet i placeringen av motorn. Seriehybriden är särskilt fördelaktig för flygplan med distribuerad framdrivning, eftersom förbränningsmotorns enda uppgift är att generera elektricitet, vilket gör det lättare att skala upp systemet (Kusmieriek, Galinski, & Stalewski, 2023).

Nackdelarna med seriehybriden är att den är tyngre än turboelektriska och parallellhybrida system, kräver både generator och batteri, har effektförluster vid energiomvandling och saknar redundans vid motorfel. Därför används den främst i låghastighetsflygplan som behöver högt vridmoment (det vill säga stor roterande kraft för att driva propellern vid låga varvtal) (Adu-Gyamfi & Good, 2022) (Kusmieriek, Galinski, & Stalewski, 2023).



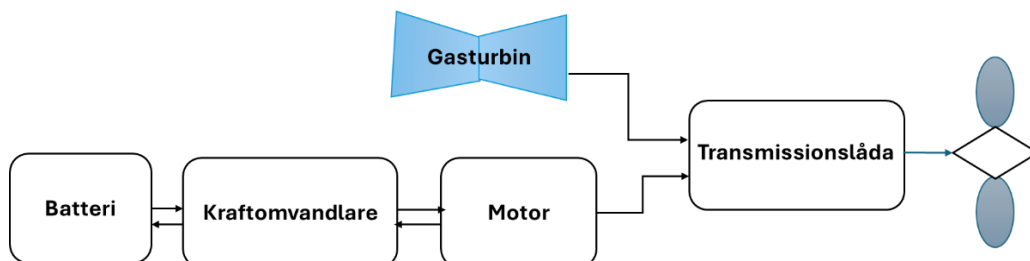
Figur 16 Konfiguration för seriehybridflygplan.

Källa: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Parallellhybridkonfiguration

I en parallellhybridkonfiguration är gasturbinmotorn och elmotorn mekaniskt kopplade till propellern, vilket gör det möjligt för båda drivlinorna att bidra till framdrivningen – antingen samtidigt eller var för sig, vilket ger flexibilitet och högre total verkningsgrad (se Figur 17). Denna konfiguration möjliggör viktbesparingar genom att antingen elmotorn eller gasturbinen kan skalas ner utan att prestandan påverkas nämnvärt. Att ha två framdrivningssystem ger dessutom inbyggd redundans och ökad säkerhet. Elmotorn kan även fungera som generator och ladda batteriet när flygplanet drivs av gasturbinen. Konfigurationen lämpar sig särskilt väl för lättflygplan. (Adu-Gyamfi & Good, 2022) (Kusmirek, Galinski, & Stalewski, 2023).

Nackdelarna inkluderar ökad mekanisk komplexitet, vilket kan påverka underhåll och tillförlitlighet. Dessutom arbetar motorerna inte alltid vid sin optimala verkningsgrad, vilket kan leda till högre bränsleförbrukning. En annan begränsning är att förbränningsmotorn måste placeras nära propellern på grund av den mekaniska kopplingen. (Adu-Gyamfi & Good, 2022) (Kusmirek, Galinski, & Stalewski, 2023). Hur stora utsläppsminskningarna från denna typ av konfiguration är varierar stort och beror på flera olika faktorer såsom vilken typ av batterier som används, hur stora och tunga dessa är, fördelningen mellan drivkraft från elmotorn och gasturbinmotorn med mera. Besparingar i bränsleanvändning som rapporterats har varierat mellan två och upp emot 70 procent i flyg där denna typ av konfiguration testats (Kusmirek, Galinski, & Stalewski, 2023).

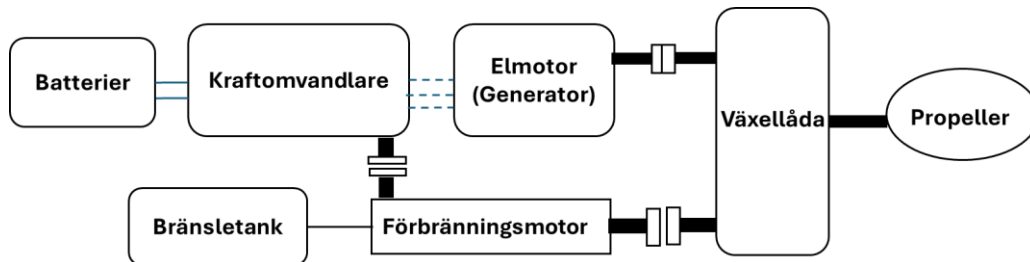


Figur 17 Konfiguration för parallellhybridflygplan.

Källa: (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Blandad (serie-parallell) arkitektur

Denna konfiguration kombinerar egenskaper från både serie- och parallellhybridsystem, vilket gör det möjligt att utnyttja styrkorna hos båda. Det ger en mer effektiv drift av förbränningsmotorn och elmotorn under olika flygfaser och belastningar. Nackdelen är en betydligt ökad systemkomplexitet och massa, vilket kan påverka både prestanda och underhållsbehov negativt. (Kusmirek, Galinski, & Stalewski, 2023). Figur 18 visar en schematisk illustration av den konfigurationen.



Figur 18 Konfiguration för serie-parallellhybridflygplan.

Källa: (Kusmirek, Galinski, & Stalewski, 2023)

Hybridelektriska flygplan har potential att revolutionera den regionala flygsektorn, exempelvis genom 50-passagerarflygplan, med upp till 25 procent minskad bränsleförbrukning och bibehållen kostnadseffektivitet. De erbjuder en kompromiss mellan utsläppsminskning och räckvidd och är mer praktiska för medelstora flygplan och längre rutter än heleelektriska alternativ (Kusmirek, Galinski, & Stalewski, 2023).

8.1.2 Möjliggörande tekniker för elektrisk flygning

Sammanfattningsvis har elmotorer flera fördelar jämfört med förbränningsmotorer: hög verkningsgrad (cirka 90 procent), tillförlitlighet, enklare underhåll och stöd för nya koncept som distribuerad framdrivning. Utmaningar kvarstår dock, bland annat termisk hantering, elektromagnetisk kompatibilitet och isolering vid höga spänningar, som måste lösas för att elmotorer ska kunna skalas upp till kommersiell flygtrafik. (Kusmirek, Galinski, & Wienczysław, 2023) (Adu-Gyamfi & Good, 2022).

Trots utmaningarna för heleelektriska flygplan pågår teknikutveckling som gradvis utökar möjligheterna. Framsteg inom batterier, elmotorer, kraftelektronik, kylning och flygplansdesign är avgörande för att övervinna dagens begränsningar och skapa effektivare, säkrare och mer hållbara flygtransporter.

Batterier är idag den största flaskhalsen för elektrisk flygning, eftersom deras låga energitäthet och höga vikt begränsar räckvidd och prestanda. Trots detta har tekniken gjort stora framsteg, särskilt för lättare flygplan och kortare rutter. Tidigare prognoser har förutspått att energitätheter på 400–500 Wh/kg på cellnivå skulle kunna uppnås runt 2022–2025 (Staack, Sobron, & Krus, 2021). En analys från 2025 av (Pattanayak & Mavris, 2025) visar dock på att batterier med energitäthet över 400 Wg/kg i dagsläget endast är utvecklade till testnivå och i labbmiljö. Kommersiell användning inom flygsektorn bedöms dröja.

Utvecklingen av elmotorer är avgörande för energieffektiv och lätt framdrivning i elflyg. Konventionella elmotorer är inte anpassade för flyg då de är för tunga och har låg specifik effekt (1–5 kW/kg), samt begränsas av värmeutveckling. Forskningen

fokuserar därför på nya material, kyltekniker och innovativa designer. (Kusmierek, Galinski, & Stalewski, 2023) (Adu-Gyamfi & Good, 2022)

Utöver batterier och motorer krävs avancerade system för att hantera elflygets höga effektnivåer och värmeutveckling. Effekthantering och distribution är centralt för att reglera spänning och ström samt fördela elektrisk energi mellan olika komponenter. I hybridsystem blir detta extra komplext eftersom flera kraftflöden måste samverka säkert och effektivt. Samtidigt är termisk hantering en av de största utmaningarna, då elektriska framdrivningssystem genererar mycket värme och komponenterna har lägre tolerans för höga temperaturer än konventionella motorer. Effektiv kylning är därför avgörande för både prestanda och säkerhet. (Kusmierek, Galinski, & Stalewski, 2023).

För att elflyg ska bli kommersiellt gångbart krävs även innovativa flygplanskoncept och framdrivningstekniker som är optimerade för elektrisk drift. Några centrala utvecklingsspår inom flygplansdesign och framdrivningsteknik är:

- **Eftermontering (Retrofitting):** Att bygga om befintliga flygplan för eldrift kan påskynda introduktionen och förenkla certifiering, men ger begränsad prestanda jämfört med nyutvecklade koncept. (Adu-Gyamfi & Good, 2022).
- **Nya flygplanskoncept:** Konstruktioner som är optimerade för låg vikt, hög energieffektivitet och integrerade elsystem är avgörande för längre räckvidd och bättre prestanda.
- **Distribuerad framdrivning (DP):** Flera små elmotorer placeras över flygplanet för att fördela dragkraften, vilket kan minska motorbehovet, förbättra prestanda vid låga hastigheter och sänka buller. Exempel på denna teknik är NASA X-57 Maxwell. (Adler & Martins, 2023) (Adu-Gyamfi & Good, 2022).
- **Gränsskiktsintag (BLI):** Teknik som återanvänder långsam luft nära flygkroppen för dragkraft, vilket minskar motstånd och ökar effektiviteten. Utmaningen är att hantera turbulens i gränsskiktet. Exempel där denna teknik appliceras är Airbus E-Thrust. (Adu-Gyamfi & Good, 2022).

8.1.3 Certifiering och reglering

Dagens certifieringsstandarder är i huvudsak utformade för konventionella flygplan och är därför inte anpassade till de tekniska särdragen hos elflyg vilket försvårar certifiering av eldrivna plan. Detta har lett till förseningar i utvecklingen av flera projekt, såsom Eviation Alice och NASA X-57 (Adu-Gyamfi & Good, 2022). För att möjliggöra kommersiell drift av elflyg krävs nya regelverk som tar hänsyn till elektriska framdrivningssystem och deras unika egenskaper, ett arbete som pågår hos de ledande luftfartsmyndigheterna. EASA typcertifierade för första gången ett elflygplan år 2020, ett tvåsitsigt plan främst avsett för pilotträning. Certifieringen baserades på samma krav som för konventionella plan av samma klass och tog tre år att genomföra (EASA, 2020). EASA införde Special Condition E-19 (EHPS²⁸) 2021 för att specificera certifieringskrav för elektriska och hybrid-elektriska framdrivningssystem. Under 2025 har arbetet fortsatt med att vidareutveckla vägledande dokument som förtydligar hur kraven ska uppfyllas i praktiken (EASA, 2025d).

²⁸ Se https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/sc_e-19_issue_1_electric_hybrid_propulsion_system_-_2021-04-07.pdf.

En särskilt utmanande aspekt är regleringen av energireserver. Nuvarande krav, som bygger på konventionella bränslen, föreskriver att flygplan ska ha tillräcklig energi för minst 45 minuters extra flygtid (Staaack, Sobron, & Krus, 2021). För elflyg innebär detta en betydande belastning givet dagens teknik, då batteriers låga energitäthet gör att reserverna kraftigt begränsar både räckvidd och nyttolast. Detta är särskilt problematiskt för kortdistansflyg, där marginalerna redan är små. Därtill gör elflygplanens lägre marschhöjd och hastighet dem mer sårbara för väderpåverkan, vilket kan leda till fler inställda flygningar och ytterligare förstärker behovet av robusta energireserver. Slutligen försvåras certifieringsprocessen även av att det saknas historisk felstatistik för den nya tekniken, vilket gör att myndigheterna måste tillämpa försiktighetsprincipen.

8.2 Vätgasflyg

Vätgasflygplan är tekniskt möjliga men kräver omfattande forskning, utveckling och investeringar. De största utmaningarna handlar om att lagra och hantera vätgasen säkert ombord, utveckla framdrivningssystem anpassade för vätgas samt att bygga upp den infrastruktur för produktion och distribution av fossilfri vätgas som krävs. I detta avsnitt presenteras de viktigaste tekniska lösningarna för vätgasflyg, inklusive hybridkoncept, och deras respektive fördelar och begränsningar. Avslutningsvis diskuteras miljö- och klimatpåverkan kopplad till vätgasens användning inom flyget.

8.2.1 Framdrivningskonfigurationer för vätgasflyg

Framdrivningssystem för vätgasflyg består av flera delar som tillsammans gör flygningen möjlig och säker. De omfattar kraftkällor som vätgasturbiner, bränsleceller och hybridlösningar, samt stödsystem för lagring och hantering av vätgas, elmotorer, batterier, kraftelektronik och energiövervakning.

Vätgasturbiner

Gasturbiner, såsom turbofläktar och turbopropmotorer, har varit det dominerande drivsystemet inom kommersiell flygtransport i decennier. Konceptet med vätgasdrivna turbiner bygger i grunden på samma principer som dagens fotogendrivna motorer, vilket gör att befintlig kunskap, komponenter och infrastruktur kan återanvändas. De flesta delar av motorn såsom fläkt, kompressor, turbin och motorkåpa kräver endast mindre modifieringar. Den största tekniska utmaningen ligger i anpassningen av förbränningskammaren (Adler & Martins, 2023).

Vätgas kräver mycket mer luft än fotogen (stökiometrisk kvot²⁹ 1:34 mot 1:15) och har bredare användningsgränser. Det gör att man kan använda magrare blandningar (mer luft, mindre bränsle), vilket sänker förbränningstemperaturen och minskar utsläpp av kväveoxider. Utmaningen är att vätgas är extremt reaktivt, vilket gör förblandning med luft riskabelt på grund av återantändning (flashback). Därför används tekniker som Lean Direct Injection (LDI) och Micro-Mix Combustion, som blandar bränsle och luft precis innan förbränning för att undvika instabilitet (Adler & Martins, 2023).

²⁹ Stökiometrisk kvot är det teoretiskt exakta förhållandet mellan reaktanter (till exempel bränsle och syre) som krävs för att en kemisk reaktion ska förbrukas fullständigt utan överskott eller underskott.

Den magra förbränningen med vätgas medför också att temperaturen på avgaserna som når turbinen blir lägre, vilket kan förlänga turbinens livslängd och minska underhållsbehovet. Vidare kan flytande väte fungera som en effektiv värmesänka, vilket öppnar upp för prestandaförbättringar exempelvis genom att förkyla inkommande luft till kompressorn eller kyla utblåsningsluft före turbinen. Vätgasturbiner betraktas som en realistisk lösning för större flygplan och långdistansflyg, där elektrifiering via batterier eller bränsleceller ännu inte kan erbjuda tillräcklig energitäthet (Adler & Martins, 2023).

Bränslecellsbaserade system

Bränsleceller omvandlar vätgas och syre till elektricitet, som används för att driva elektriska framdrivningssystem såsom propellrar eller inkapslade fläktar. Denna teknik är särskilt attraktiv för mindre flygplan med kort räckvidd, där låg ljudnivå, hög verkningsgrad och nollutsläpp är viktiga faktorer. Bränsleceller har därför blivit en dominerande lösning för elektriska flygplan inom segmenten för regionalflyg, drönare och UAV:er³⁰ (Adler & Martins, 2023) (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024).

Bränsleceller står inför flera tekniska utmaningar som påverkar livslängd och prestanda (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024). Bland annat är termisk hantering kritisk, särskilt för PEMFC³¹ med en verkningsgrad kring 50 procent, där kylning sker via vätskekylning, fasförändringsmaterial eller värmepumpar. Systemintegration är en annan utmaning, då hjälpsystemen för kylning, trycksättning och elreglering kan väga lika mycket som själva bränslecellsstacken. För större flygplan kan ett komplett bränslecellssystem vara upp till tre gånger tyngre än ett motsvarande turbofläktsystem. Trots detta är bränsleceller attraktiva för mindre flygplan, eftersom deras verkningsgrad är relativt konstant över ett brett storleksintervall och då inte straffas av minskad verkningsgrad när systemet skalas ner (Adler & Martins, 2023).

Hybrida kraftsystem

Hybrida kraftsystem kombinerar flera energikällor vanligtvis bränsleceller, batterier och ibland även vätgasturbiner för att optimera flygplanets prestanda, effektivitet och driftsäkerhet. Genom att utnyttja styrkorna hos varje komponent kan systemet anpassas till olika flygprofiler och effektbehov. De vanligaste arkitekturerna är seriekonfiguration, parallellkonfiguration, samt mer avancerade lösningar som multistacksystem och turbin-bränslecell-hybrider (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024).

I en seriekonfiguration genererar bränslecellen elektricitet som laddar ett batterisystem via en generator, och batteriet driver i sin tur framdrivningssystemet. I en parallellkonfiguration arbetar bränslecellen och batteriet tillsammans för att direkt leverera framdrivningseffekt. Denna lösning erbjuder högre effektivitet, snabbare respons och bättre prestanda vid varierande belastning. En mer avancerad variant är Multistack Fuel Cell Systems (MFCS), där flera bränslecellsstackar används parallellt. Detta möjliggör flexibel effektfördelning och gör det möjligt att låta varje stack arbeta inom sitt optimala driftområde. (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024). En innovativ hybridarkitektur kombinerar

³⁰ Unmanned Aerial vehicle, obemannade flygfarkoster.

³¹ PEMFC = Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells; en typ av bränslecell.

vätgasturbiner och bränsleceller i ett integrerat system. Ett exempel är NASA:s Hy2PASS-koncept (Hydrogen Hybrid Power for Aviation Sustainable Systems), där en bränslecell driver en elektrisk kompressor som förser både bränslecellen och turbinen med syre (Ansell, 2025). Denna typ av hybridisering är fortfarande under utveckling, men visar god potential för framtidens medelstora till stora flygplan.

Hybridlösningar erbjuder därmed en skalbar väg mot elektrifiering av luftfarten, särskilt i övergångsfasen där varken batterier, bränsleceller eller turbiner ensamma kan uppfylla alla krav. Genom att kombinera tekniker kan man uppnå en balans mellan räckvidd, vikt, effektivitet och säkerhet, men det kräver avancerad systemintegration och noggrann optimering av varje komponent.

8.2.2 Systemkomponenter

Utöver kraftgenereringen – oavsett om den sker via vätgasturbiner, bränsleceller eller hybridlösningar – kräver ett fungerande framdrivningssystem flera andra viktiga delsystem. Dessa inkluderar bland annat vätelagring och bränslesystem, balance of plant (BoP), elmotorer, batterier, kraftelektronik och ett energiövervakningssystem (EMS) (Adler & Martins, 2023) (Suwaileh, o.a., 2025) (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024). Tillsammans utgör de den tekniska helhet som möjliggör effektiv, säker och kontrollerad drift av vätgasbaserade flygplanssystem.

Vätelagring är en avgörande komponent i framdrivningssystemet för vätgasflygplan och påverkar flera aspekter av flygplanets utformning, inklusive räckvidd, säkerhet och aerodynamik. Vätgas kan lagras antingen som komprimerad gas eller som flytande väte, där varje metod medför specifika tekniska och operationella utmaningar. (Suwaileh, o.a., 2025).

Vätgasens låga volymetriska energitäthet innebär att stora och specialutformade tankar krävs, vilka av säkerhets- och utformningsskäl inte kan integreras i vingarna på samma sätt som konventionellt flygbränsle. När bränslet inte längre lagras i vingarna förloras den strukturella avlastning som bränslevikten normalt bidrar med, vilket kan kräva kraftigare vingstrukturer och därmed ökad vikt och luftmotstånd. Tankarna placeras därför oftast i flygkroppen, exempelvis framför, bakom eller ovanför kabinen. Placering ovanför kabinen kan innebära säkerhetsfördelar, men kräver samtidigt ytterligare struktur och isolering, vilket kan leda till en ökad tomvikt (Suwaileh, o.a., 2025) (Adler & Martins, 2023). Utvecklingen av lätta, säkra och kompakta vätelagringssystem är en nyckelfaktor för att möjliggöra kommersiellt gångbara vätgasflygplan.

Balance of Plant (BoP) omfattar all kringutrustning som krävs för att stödja bränslecellssystemets funktion, inklusive hantering av bränsle, luft, temperatur, vatten och elektrisk uteffekt. I flygplansapplikationer ställs särskilt höga krav på BoP-designen på grund av begränsat utrymme, låg vikt och varierande driftsförhållanden, såsom förändringar i höjd, tryck och temperatur (Suwaileh, o.a., 2025). För att möta dessa krav måste BoP-systemen vara kompakta, lätta och tillförlitliga. Detta är särskilt viktigt för UAV:er och mindre flygplan, där små skillnader i vikt får större konsekvenser (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024).

Elmotorer omvandlar den elektriska energin från bränsleceller eller batterier till mekanisk kraft som driver propellrar eller fläktar. De utgör en central komponent i elektriska och hybrida framdrivningssystem och måste uppfylla höga krav på effektivitet, verkningsgrad, vikt och kylning för att vara lämpliga för flyg. För

flygapplikationer krävs elmotorer med mycket hög effekttäthet (kW/kg) för att minimera vikt och volym. Samtidigt måste de ha hög verkningsgrad för att maximera nyttjandet av den tillgängliga elektriska energin. Kylning är en särskilt kritisk aspekt, särskilt vid höga effektnivåer. (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024) (Adler & Martins, 2023).

Kraftelektronik spelar en avgörande roll i elektriska och hybrida framdrivningssystem genom att styra och reglera energiflödet. I aktiva konfigurationer används DC/DC- och DC/AC-omvandlare för att koppla samman bränsleceller, batterier och elmotorer med framdrivningssystemet. Dessa omvandlare möjliggör exakt effekttstyrning, optimerad systemintegration och flexibilitet i dimensioneringen av kraftkällor, vilket är särskilt värdefullt i komplexa system (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024).

Genom att använda omvandlare kan storleken på batterier och bränsleceller frikopplas från driftsparametrarna, vilket ger större frihet i systemdesignen. Samtidigt medför detta vissa utmaningar, såsom ökad systemkomplexitet, effektförluster i omvandlingsstegen, högre kostnader samt ökad massa och volym. Dessa nackdelar måste vägas mot de funktionella fördelarna, särskilt inom flygindustrin där både vikt och verkningsgrad är kritiska faktorer (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024)..

Energiövervakningssystem (EMS) fungerar som "hjärnan" i ett hybridbränslecells-/batterisystem och ansvarar för att styra och optimera effektförlödet mellan olika kraftkällor. Systemet analyserar det totala effektbehovet i realtid och tar hänsyn till parametrar som laddningstillstånd (State Of Charge, SOC), hälsotillstånd (State Of Health, SOH) och optimala driftpunkter för både bränsleceller och batterier. Integrerade EMS-lösningar är avgörande för att säkerställa att hybridsystem fungerar effektivt under varierande belastning och flygfaser. De bidrar även till att undvika snabba belastningsvariationer, vilket är viktigt för att minska interna förluster och öka systemets livslängd (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024).

En djupgående granskning och fortsatt forskning kring dessa specialiserade elektriska komponenter är avgörande för att övervinna tekniska hinder och möjliggöra storskalig kommersiell användning av vätgasdriven luftfart.

8.2.3 Miljö- och klimatpåverkan

Både vätgasförbränning och bränslecellsdrift eliminerar direkta koldioxidutsläpp under flygning. Den totala klimatpåverkan beror dock på flera faktorer, inklusive hur vätgasen produceras, hur den hanteras och vilka atmosfäriska effekter som uppstår under flygning (Suwaileh, o.a., 2025).

Vätgasförbränning genererar ingen koldioxid men däremot kväveoxider. Bränsleceller har nollutsläpp under drift och producerar i princip inga kväveoxider alls. (Suwaileh, o.a., 2025).

Vätgas är inte en växthusgas i sig, men kan indirekt påverka klimatet genom att förlänga metans livslängd och öka ozonbildningen genom kemiska processer i atmosfären. Den globala uppvärmningspotentialen (GWP100) för vätgas uppskattas till 5–11 beroende på vilka effekter som tas med i beräkningen. Vätgasläckage bedöms ha liten klimatpåverkan vid låga nivåer, men kan bli betydande vid högre

läckagegrader. Läckage uppemot tio procent anses osannolika av säkerhets- och kostnadsskäl. (Adler & Martins, 2023).

Vätgasförbränning producerar cirka 2,6 gånger mer vattenånga per energienhet än fotogen. Detta ökar risken för kondensstrimmor, särskilt vid höga höjder (Adler & Martins, 2023). Vätgasflygplan producerar däremot färre sotpartiklar, vilket leder till färre men större iskristaller i kondensstrimmor. Dessa har kortare livslängd och lägre optisk täthet, vilket minskar deras klimatpåverkan. Vissa studier uppskattar att vätgasflygplan kan minska strålningspåverkan från kondensstrimmor med 16–29 procent jämfört med konventionella jetmotorer (Soleymani, Mostafavi, Hebert, Kelouwani, & Boulon, 2024). Bränsleceller kan potentiellt producera mindre eller inga kondensstrimmor, beroende på systemdesign. Det är tekniskt möjligt att samla upp vattenången och släppa ut den under förhållanden som minimerar strimbildning, men detta ökar systemets vikt (Adler & Martins, 2023).

Eftersom vätgasflyg inte släpper ut koldioxid vid förbränningen, kan finnas större incitament att justera flyghöjd och rutt för att undvika kondensstrimmor utan att kompromissa med koldioxidutsläpp (Alliance for Zero-Emission Aviation, 2024) (Adler & Martins, 2023). Vattenånga i höjder under 8–10 km har försumbar klimatpåverkan, vilket gör lägre flyghöjd till en möjlig strategi för att minska strålningspåverkan, även om förbrukningen av vätgas kan öka i och med rutförändringar. (Adler & Martins, 2023)

8.3 Andra tekniker och typer av luftfart under utveckling

Eftersom luftfarten till största delen består av olika typer av flygplanstrafik är det även flygplansteknik som getts störst utrymme inom detta uppdrag. Däremot finns det andra tekniker inom luftfarten som har möjlighet att i framtiden både förändra resmönster, bidra till ökad tillgänglighet och vara en del i luftfartens omställning till fossilfrihet. Några av dessa tekniker presenteras i detta avsnitt³².

8.3.1 eSTOL och eVTOL

STOL (Short Take-Off and Landing) avser flygplan som kan starta och landa på korta banor. Elektriska varianter, så kallade eSTOL, är under utveckling³³. Tekniken är ännu inte etablerad i större skala, men bedöms ha liknande behov av laddinfrastruktur som övriga elflyg. Kortare startsträckor kan potentiellt bidra till ökad tillgänglighet och minska kraven på fysisk infrastruktur, exempelvis genom att möjliggöra drift från mindre flygplatser.

VTOL (Vertical Take-Off and Landing) är flygfarkoster som kan lyfta och landa vertikalt. Intresset för elektriska VTOL-farkoster (eVTOL) är stort och tekniken lyfts fram som ett möjligt klimatsmart alternativ för urban lufttransport och lättare frakt. NISA (Nordic Initiative for Sustainable Aviation) uppger att kring 200 aktörer arbetar med att utveckla tekniken med målsättningen att inom några år introducera exempelvis luftburna taxitjänster i stadsmiljö och tätbebyggda områden (NISA, u.d.).

³² Det finns dock även andra innovationer som exempelvis det brittiska företaget Hybrid Air Vehicles (HAV) som utvecklar ett luftskepp som använder teknologi från både flygplan och luftskepp. Planerad driftstart är 2029. Se: <https://www.hybridairvehicles.com/>.

³³ Se exempelvis Electra: <https://www.electra.aero/technology>.

Utmaningar innan tekniken kan bli storskaligt introducerad på marknaden liknar de för elflyg i stort, och omfattar bland annat batteriteknik, säkerhetskrav, certifieringsprocesser och behov av ny infrastruktur.

eSTOL och eVTOL bedöms för tillfället inte kunna ersätta befintlig inrikesflygtrafik i någon större omfattning, då farkosterna inte kan uppnå de sträckor, passagerarantal eller nyttolast som krävs. Däremot kan tekniken på sikt bidra till hållbara transportlösningar på regional nivå och har möjlighet att skapa samhällsnytta och utsläppsminskningar inom andra delar av transportsystemet. Inom hållbar urban utveckling kan eVTOL och eSTOL exempelvis ersätta fossilberoende vägtransporter för kortare sträckor och öka mobilitet och tillgänglighet i vissa områden (Energimyndigheten, 2023b). Det finns dock utmaningar med att etablera den här tekniken kopplade till bland annat miljöpåverkan vid storskalig användning eftersom tekniken är relativt resursintensiv (Staack, Sobron, & Krus, 2021).

8.3.2 Helikoptrar

Helikoptrar drivs i dagsläget huvudsakligen med fossilt flygbränsle. Det pågår dock en teknikutveckling mot fossilfria alternativ, både genom elektrifiering och ökad användning av SAF. Helikoptrar kan, likt konventionella flygplan, certifieras för drift med SAF. År 2022 genomförde Airbus den första helikopterflygningen med 100 procent SAF och har som målsättning att certifiera helikoptrar för full SAF-drift senast 2030 (Airbus, 2022).

Utvecklingen inom elektrisk drift och användning av SAF för helikoptrar följer i stora drag samma tekniska väg som för övrig luftfart. Detta indikerar att framtida styrmedel och stödinsatser för fossilfri omställning inom flygtrafiken även kan omfatta helikoptrar. Det kan exempelvis vara relevant att undersöka möjligheten att införa riktlinjer för användning av SAF inom samhällsviktig verksamhet, såsom polisens helikoptrar och ambulanshelikoptrar i sjukvården, under förutsättning att verksamhetens operativa förmåga inte påverkas negativt. Även försvaret har ett flertal helikoptrar. Försvarets omställning till fossilfrihet diskuteras vidare i kapitel 11.

8.4 Sammanfattande reflektioner

Utöver hållbara flygbränslen utvecklas flera tekniska lösningar som kan bidra till luftfartens långsiktiga omställning till fossilfrihet, men deras roll och mognadsgrad skiljer sig åt. Elflyg ligger längre fram i utvecklingen än vätgasflyg, men begränsas av batteriers låga energitäthet, höga vikt och utmaningar kring bland annat certifiering. Det innebär att helelektriska flygplan på överskådlig tid främst lämpar sig för små plan, korta sträckor och nischade regionala flygningar, snarare än för den breda kommersiella trafiken. Hybrid- och turboelektriska system, som kombinerar batterier, eldrift och gasturbiner, ligger något längre fram i tillämpning jämfört med helelektriska flyg och skulle kunna ge märkbara utsläppsreduktioner i regionalflyg under 2030-talet. Ändå befinner sig tekniken i en fas där prototyper, demonstrationsflygningar och forskningsprojekt dominerar och det krävs betydande framsteg inom batterier, kylsystem, kraftelektronik och nya flygplanskoncept för att nå kommersiell skala.

Vätgasflyg är en lovande teknik för att minska utsläppen från större flygplan på längre distanser, men befinner sig i ett ännu tidigare utvecklingsskede än elflyg. Två

huvudspår dominerar: förbränning av vätgas i modifierade jetmotorer och eldrift med bränsleceller. Vätgasförbränning har hög teknisk potential för medel- och långdistansflyg men kräver nya flygplansstrukturer, stora kryogena tankar och en global infrastruktur för flytande vätgas. Bränslecellsflyg lämpar sig främst för mindre plan och korta distanser, men utmanas av bland annat systemvikt och komplex kylning. Demonstrationsprojekt pågår, men ingen av teknikerna bedöms kunna spela en betydande roll i den kommersiella luftfarten förrän tidigast på 2040-talet.

Andra tekniker som elektriska vertikalstartande fordon (eVTOL) utvecklas också men bedöms fylla kompletterande nischer snarare än att ersätta reguljärflyget. Samlat innebär detta att medan el- och vätgasflyg på sikt kan bidra till luftfartens omställning till fossilfrihet, är deras mognadsgrad låg, och de väntas spela en begränsad och nischad roll i närtid, med störst potential först på längre sikt.

Energimyndigheten har tidigare analyserat möjligheten att införa en klimatpremie i syfte att främja introduktionen av el- och vätgasdrivna flygplan på den svenska marknaden (Energimyndigheten, 2023b). Analysen inkluderade både helelektriska flygplan, drivna av batterier eller bränsleceller, samt hybridflygplan som kombinerar eldrivna tekniker med konventionella bränslen. Mot bakgrund av att tekniken för elflyg och vätgasflyg ännu befinner sig i ett tidigt utvecklingsskede, lyfte Energimyndigheten även i den utredningen svårigheterna med att elflyg i närtid ska kunna ersätta fossilt flyg på befintliga sträckor. Det finns begränsningar i passagerarkapacitet och räckvidd som försvårar introduktionen. Introduktion av vätgastekniken bedöms ligga ännu längre fram i tiden och skulle inte vara relevant att inkludera i en premie förrän på längre sikt.

Utredningen belyste även alternativet med ett tvåstegsbaserat angreppssätt. Det första steget innebär satsningar på forskning och innovation för att påskynda teknikutvecklingen. Det andra steget utgörs av finansiellt stöd, exempelvis i form av en klimatpremie, för att underlätta marknadsintroduktionen när tekniken är tillräckligt mogen. Det är fortfarande Energimyndighetens bedömning att tekniken inte är mogen för att i nuläget införa en särskild klimatpremie.

9 Infrastruktur för framtidens luftfart

Flygplatser är centrala platser och aktörer i omställningen till en fossilfri luftfart, eftersom ny teknik och infrastruktur implementeras inom flygplatsernas område.

Energimyndigheten har genomfört en enkätstudie om luftfartens omställning till fossilfrihet riktad till flygplatser. Enkätundersökningen riktades till Swedavia och till regionala flygplatser. I enkätundersökningen ställdes frågor om bland annat infrastruktur för hållbart flygbränsle, el- och vätgasflyg. Det ställdes även frågor om bland annat teknik, investeringar, hinder, utmaningar, kostnader samt stödmöjligheter.

9.1 Flygplatsernas enkätsvar

I nedanstående avsnitt presenteras flygplatserna svar på enkätundersökningen översiktligt. Svaren sammanfattas kort i detta kapitel, men redovisas mer utförligt i Bilaga 4.

9.1.1 Flygplatsernas identifierade hinder och utmaningar

När det gäller frågor kring vilka hinder och utmaningar flygplatserna ser kring den framtida infrastrukturen för fossilfritt flyg visar svaren på att det finns flera osäkerheter kring infrastrukturen och hur den ska finansieras. Flygplatserna har begränsade ekonomiska resurser för investeringar i infrastruktur, vilket framstår som en betydande utmaning. Samtidigt visar svaren att det finns osäkerheter om vem som ska äga och driva infrastrukturen, samt att det finns svårigheter att avgöra de framtida behoven och när de nya luftfarkosterna kommer på plats. Detta innebär en ytterligare osäkerhet om vem som ska stå för kostnader och i slutändan hur omfattande kostnaderna blir för flygplatserna.

Regionala flygplatser drivs ofta genom kommunala bolag och samtliga går med förlust, vilket också innebär svårigheter att göra kostsamma och osäkra investeringar. Att flera flygplatser även uttrycker osäkerheter kring framtida teknikval och utmaningar kring möjligheten att förstärka elnätet, innebär utmaningar och hinder som flygplatser ställs inför och troligtvis kan ha svårt att hantera i ett inledande skede. Inte minst utifrån att tekniken för el- och vätgasflyg fortsatt är under utveckling.

9.1.2 Motiv för flygplatserna att ställa om

I undersökningen ställdes en fråga om vad som kan motivera flygplatser att investera i infrastruktur för el, vätgas eller hållbart flygbränsle (SAF).

Svaren från flygplatserna visar att det finns många olika motiv som kan påverka viljan att investera i infrastruktur för fossilfritt flyg. En motiverande faktor skulle vara om det fanns en nationell plan med gemensamma mål och en tydlig affärsmodell för hur infrastrukturen ska finansieras, vilken bör stöttas och finansieras av staten och EU. En annan motiverande faktor kan vara att efterfrågan finns genom exempelvis regelverk och klimatmål. Svaren visar även att omställningen till fossilfrihet kan öka

flygplatsers attraktivitet, resiliens, framtidssäkring och att omställningen skapar möjligheter genom att trafik exempelvis kan introduceras på nya sträckor.

9.1.3 Kostnader och investeringar

I undersökningen ställdes flera frågor om kostnader för att investera i infrastruktur för fossilfritt flyg såsom el- och vätgasflyg och hållbart flygbränsle.

Flygplatsernas svar visar att det finns flera olika kostnader och behov av investeringar att ha i beaktande. Utöver framdragnings av effekt och ny infrastruktur, tillkommer andra typer av kostnader som en konsekvens av den nya tekniken och infrastrukturen. Det handlar om bland annat nya säkerhetsrutiner, utbildningar och ombyggnad av ytor. Flygplatsernas svar visar samtidigt att det finns en betydande osäkerhet om hur omfattande kostnaderna kommer att bli och att det kan finnas behov av nationell samordning och finansiering. Slutligen visar svaren på komplexiteten utifrån de många faktorer som flygplatser har att förhålla sig till och att det kan behövas samarbeten och utbyten mellan flera olika aktörer såsom flygplatser, flygbolag, energibolag och myndigheter, för att omställningen till ett fossilfritt flyg ska kunna realiseras.

9.1.4 Stöd och stödmöjligheter

När det gäller frågor kring stöd och stödmöjligheter visar svaren att det upplevs finnas bristande stödmöjligheter för att flygplatser ska kunna tillhandahålla infrastruktur för fossilfritt flyg. De stöd som ändå finns att tillgå via EU-program och andra satsningar upplevs som komplicerade att ta del av. Från flygplatsernas sida upplevs det alltså finnas behov av nya eller riktade stödåtgärder för att kunna realisera infrastrukturen för fossilfritt flyg. Det är dock flera faktorer som behöver utredas, såsom vem som ska äga och driva infrastrukturen och vilka aktörer som därmed blir aktuella stödmottagare. Andra frågor som behöver besvaras är exempelvis hur den finansiella riskdelningen ska se ut och om stöd även kan och bör ges till operativa kostnader. Därutöver behöver det utredas vilka eventuella framtida stödåtgärder som ska realiseras och hur dessa kan anpassas för att göra mesta möjliga nytta. Slutligen behöver det även utredas hur introduktionen av ny teknik och infrastruktur för fossilfritt flyg ska ske och om det exempelvis bör ske samtidigt vid samtliga av landets flygplatser.

9.1.5 Hållbart flygbränsle (SAF)

Utifrån svaren framstår användningen av hållbart flygbränsle som det främsta alternativet för att minska växthusgasutsläppen från luftfarten inom ett närmare tidsperspektiv, innan ny kompletterande teknik såsom el- och vätgasflyg finns på plats och är fullt implementerad. Majoriteten av flygplatserna bedömer att det inte krävs någon ny infrastruktur för att SAF ska kunna användas vid landets flygplatser och att det därmed inte krävs några större investeringar för ökad användning av hållbart flygbränsle.

Det återstår dock flera utmaningar för att hållbart flygbränsle ska kunna tillhandahållas och användas i större skala. Bland lyfter även flygplatserna behovet av att produktionen av hållbart flygbränsle behöver öka. För att öka användningen av hållbart flygbränsle utgör också prisskillnaden mellan hållbart flygbränsle och fossilt flygbränsle ett hinder. EU-förordningen ReFuelEU Aviation som succesivt ökar andelen hållbart flygbränsle som behöver användas vid unionsflygplatser, utgör en faktor som kommer att öka efterfrågan på längre sikt. EU-förordningens krav träffar

dock inte mindre flygplatser, utan endast unionsflygplatser med en årlig passagerartrafik som överstiger 800 000 passagerare eller en årlig godstrafik över 100 000 ton. Frågan är därmed om efterfrågan på hållbart flygbränsle även kommer att öka vid mindre flygplatser. Svaren från flera regionala flygplatser visar även att det är dyrare att få hållbart flygbränsle levererat till flygplatser ute i landet, vilket kan minska incitamenten att använda hållbart flygbränsle vid regionala flygplatser.

9.1.6 Elflyg

Svaren kring frågor om infrastruktur till elflyg visar betydande osäkerheter och risker både gällande standarder för laddutrustning, kostnader och vem som ska stå för de kostnader som uppstår. I och med att tekniken för elflyg fortsatt är under utveckling och att standarder inte helt är fastslagna, behöver det troligen utredas och samordnas hur elflyg kan introduceras. Praktiska frågor behöver då också beaktas, exempelvis att laddmöjligheter måste finnas både på avrese- och destinationsflygplats och att tillräcklig maximal laddningseffekt finns tillgängliga för de elflyg som i framtiden kommer att trafikera landets flygplatser. Frågor om hur investeringar kan göras är en betydande osäkerhet då tekniken för elflyg fortsatt är under utveckling.

9.1.7 Vätgasflyg

Majoriteten av flygplatser uppger att introduktion av vätgasflyg och tillhörande infrastruktur kommer att innebära kostnader. Flygplatserna uppger samtidigt att det är svårt att bedöma hur stora kostnaderna blir, eftersom flera faktorer fortsatt är osäkra och okända. Flygplatser uppger att det finns osäkerheter om hur vätgasen ska transporteras till flygplatsen, vilka mängder som behövs, när vätgasflyget kommer och vem som ska stå för investeringar.

En central osäkerhetsfaktor är att vätgastekniken fortsatt är omogen och under utveckling, vilket innebär att kostnader är svåra att bedöma. I och med att kommersiell trafik med vätgasflyg fortsatt ligger långt in i framtiden, bör vätgasflygets roll, potential och finansiering utredas vidare. Den sammanhållna nationella plan/implementering som en majoritet av flygplatserna föreslår, skulle kunna vara en lösning. Inom ramen för en sådan plan kan många av de osäkerheter och frågor som flygplatserna nämnt identifieras, utredas och besvaras.

9.1.8 Effektbehov

Det har även ställts frågor om flygplatsernas framtida effektbehov och vilka kostnader som blir en konsekvens av att flygplatser behöver tillhandahålla tillräcklig effekt för framtidens fossilfria flyg.

Svaren visar att det även här finns en rad osäkerheter om vilken effekt som flygplatserna kommer att behöva till framtidens infrastruktur för fossilfritt flyg. Den främsta osäkerheten är att tekniken och tillhörande standarder för el- och vätgasflyg är under utveckling, vilket innebär att effektbehovet inte kan fastställas exakt. Flera flygplatser har också haft svårt att få besked om kostnader för ökad effekt från sina elleverantörer. Flera flygplatser lyfter i sina svar att frågan om effektbehov och kostnader bör utredas närmare. Svaren visar också att flygplatsernas förutsättningar är unika, vilket innebär att möjligheten till ökad effekt kommer att skilja sig åt mellan landets flygplatser. Slutligen redovisar ett par flygplatser kostnadsuppskattningar och verkliga kostnader för att öka effekten. Dessa siffror kan ge en indikation om hur kostnader ser ut eller kommer att se ut i framtiden. Det är dock som tidigare nämnts betydande osäkerheter om de framtida behoven eftersom tekniken inom el- och

vätgasflyg fortsatt är under utveckling, vilket innebär att framtida behov och kostnader inte kan fastställas.

Effektbehovet förväntas även öka när energidensiteten i elflygplanens batterier ökar. Det finns en risk att flygplatser som är tidigt ute gör felsatsningar i val av teknik, men kanske främst i val av maximal effekt som en laddstation kan erbjuda.

9.2 Behov av stöd till ladd- och vätgasinfrastruktur på flygplatser

Det har tidigare funnits möjlighet att söka stöd för tankinfrastruktur till vätgasflyg från EU genom CEF (fonden för ett sammanlänkat Europa)³⁴. Det har däremot enligt Trafikverkets CEF-sekretariat inte funnits ett specifikt stöd för just laddinfrastruktur till elflyg. Stöd har i stället kunnat ges till markverksamhet kopplat till elflyg. Samtliga utlysningar inom CEF är nu avslutade och nästa programperiod startar 2028 (Trafikverket, 2025b).

Det finns idag en teoretisk möjlighet att söka stöd till laddstationer för elflyg via Klimatklivet (Naturvårdsverket, 2025f). Det är inte helt klart om stöd kan beviljas till tankinfrastruktur för vätgasflyg. Det måste utredas när det finns en faktisk ansökan att ta ställning till. Utbyggnad av infrastruktur kan ibland ha svårt att konkurrera inom Klimatklivet på grund av de krav som ställs kring utsläppsminskning per investerad krona (Naturvårdsverket, 2025g).

Utifrån att elflygplan för kommersiell trafik fortfarande är under utveckling och att det finns betydande osäkerheter om vilken effekt och standard som kommer att efterfrågas på sikt, är Energimyndighetens bedömning att det är svårt att ta fram ett konkret förslag på hur ett stöd till laddstationer för elflyg skulle kunna utformas idag. I och med att möjligheten att söka stöd inom Klimatklivet finns, bör eventuell utformning av ett mer riktat stöd avvakta att tekniken blir mer mogen.

Det kan finnas behov av ett riktat stöd till laddstationer för elflyg när väl standarder för laddning är klara och när nya elflygplan för kommersiell trafik är närmare introduktion. Behovet av ett sådant stöd skulle kunna motiveras för att säkerställa att flygtrafiken i Sverige kan börja använda elflyg relativt snabbt när väl tekniken för kommersiellt elflyg introduceras. Detta är även något som Trafikverket har förordat i en tidigare utredning. Trafikverket föreslog då att det behövs mer specifikt utformade stöd för flygplatsers och flygbolags omställning utöver de möjligheter som ges genom Klimatklivet (Trafikverket, 2024). Ett sådant riktat stöd måste dock göras utifrån gedigna kunskapsunderlag om hur ett sådant stöd kan ge största möjliga nytta. Underlaget behöver exempelvis bedöma behovet av att introducera laddstationer på samtliga kommersiella trafikflygplatser. En grundläggande aspekt att beakta är att laddstationer behöver finnas både vid avrese- och destinationsflygplats. Underlaget behöver även utreda de effektbehov som finns och kommer att finnas i framtiden, samt vilka typer av laddstationer som kommer att vara aktuella. Det finns exempelvis både mobila och stationära laddstationer och den framtida laddinfrastrukturen för elflyg behöver vara flexibel och anpassad efter varje flygplats förutsättningar (VTI,

³⁴ Läs mer på https://cinea.ec.europa.eu/programmes/connecting-europe-facility_en.

2025). Slutligen bör underlaget även utifrån teknikutvecklingen försöka fastställa när den lämpligaste tidpunkten för att introducera ett sådant stöd är.

Vätgasflyg är fortsatt under utveckling och därför är det svårt att uttala sig om behovet av stöd för tankinfrastruktur till vätgasflyg i detta skede. Det kan dock konstateras att det skulle behövas en plan och utredning om hur tankinfrastruktur för vätgasflyg ska kunna introduceras och vilka behov som finns och kommer att finnas i framtiden. I en sådan plan bör också ett bredare perspektiv om vätgasflygets roll, potential och finansiering utredas. Därtill bör en sådan plan eller utredning inkludera frågan om och när ett särskilt stöd riktat till tankinfrastruktur för vätgasflyg skulle kunna införas.

Energimyndigheten föreslår att en lämplig myndighet får ett uppdrag som nationell samordnare kring utbyggnad av infrastruktur för framtidens fossilfria flyg, vilket även har föreslagits tidigare av Trafikverket (Trafikverket, 2024). Eftersom den nya infrastrukturen för el- och vätgasflyg är komplex och omfattar många nya faktorer att ta hänsyn till såsom effektbehov, standarder, nya luftfartyg, nya säkerhetsrutiner med mera, samtidigt som teknikutvecklingen är pågående, behövs ett samlat ansvar för att implementeringen av ett fossilfritt flyg ska kunna ske koordinerat och effektivt.

9.3 Sammanfattande reflektioner

Flygplatserna har en central roll i omställningen till fossilfritt flyg eftersom all ny teknik kräver att infrastrukturen finns etablerad just där. Den enkätstudie som genomförts inom uppdraget visar dock att nästan alla flygplatser står inför betydande ekonomiska och praktiska hinder. De största utmaningarna handlar om höga investeringskostnader, oklara ägar- och ansvarsstrukturer samt osäkerheter kring teknikval, standarder och framtida effektbehov. Särskilt regionala flygplatser, som ofta är kommunalt ägda och driver verksamhet med underskott, saknar ekonomiska marginaler för att idag bygga ny infrastruktur utan statligt stöd. Därtill är elnätsförstärkningar en stor och svårbedömd kostnad, och många flygplatser vittnar om svårigheter att få besked från nätägare om kapacitet och kostnad. För elflyg är laddstandarder ännu inte fastställda, vilket gör investeringar riskfyllda och svåra att planera. För vätgas är osäkerheterna ännu större och omfattar hela värdekedjan: produktion, transport, lagring och framtida efterfrågan. Sammantaget gör detta att flygplatserna har svårt att själva våga ta första steget, även om de ser behovet av att agera.

Det finns ett behov av att koordinera utbyggnaden av infrastruktur för att både avgångs- och destinationsflygplatser måste vara redo. Hållbara flygbränslen framstår som det enklaste steget på kort sikt eftersom det kräver minimal ny infrastruktur, men bränslet är dyrt och tillgången begränsad. För el- och vätgasflyg är osäkerheterna större, vilket talar för nationell samordning, tydlig ansvarsfördelning och framöver kan det även finnas ett behov av riktade stöd för investeringar i infrastruktur.

Flygplatserna saknar idag till stor del kapacitet att bygga infrastruktur för framtidens fossilfria flyg själva. Osäkerheter kring teknikval och ansvar gör att omställningen till fossilfrihet riskerar att stanna av om det inte finns någon med ett samlat ansvar för att implementeringen av ett fossilfritt flyg ska ske koordinerat och effektivt. Energimyndigheten föreslår att en lämplig myndighet få ett uppdrag som nationell samordnare kring utbyggnad av infrastruktur för framtidens fossilfria flyg.

10 Forskning och innovation

Omställningen till ett fossilfritt flyg kräver omfattande ny kunskap och teknikutveckling, och dagens forskningslandskap är både komplext och fragmenterat. Dagens forskningsinsatser på luftfartsområdet är utspridda och det saknas en samlad nationell strategi och en myndighet med tydligt koordineringsansvar. Behovet av förstärkta satsningar drivs av tekniska begränsningar i dagens lösningar: elflyg hindras av batteriers låga energitäthet, begränsad räckvidd och osäker klimatnytta ur ett livscykelperspektiv; vätflyg kräver helt ny infrastruktur och tekniska genombrott kring bland annat lagring och bränsleceller; och för hållbara flygbränslen behövs snabbare teknikutveckling, större råvarubredd och billigare produktionsmetoder. Nya områden som drönarteknik, eSTOL respektive eVTOL (se avsnitt 8.3) kräver riktade insatser. Andra viktiga frågor är behovet av kompetensförsörjning och ett stärkt samarbete mellan industri och akademi.

För att snabba på omställningen till fossilfrihet och säkerställa att nya tekniker ska nå kommersiell skala behövs därför mer omfattande och riktade satsningar på stöd för forskning och innovation. Särskilt i pilotprojekt, testbäddar, demonstrationsanläggningar och även utveckling av energieffektivare flygplans- och motorteknik.

10.1 Dagens forskningsstöd och innovationsstöd för flyg

Forskning och innovation är avgörande för att påskynda luftfartens omställning till fossilfrihet och flera myndigheter har redan en aktiv roll i detta arbete.

Energimyndigheten har under lång tid finansierat projekt inom området, både genom regeringsuppdrag och via sina forsknings- och innovationsprogram för biobränsle och hållbara transporter. Energimyndigheten finansierar idag projekt inom fossilfritt flyg inom ramen för energiforskningsanslaget och Industriklivet. Finansiering av projekt som kan bidra till ett fossilfritt flyg sker löpande och i slutet av 2023 beviljades stöd till tio nya projekt på totalt 55 miljoner kronor för såväl teknisk utveckling som demonstrationer.³⁵ De program hos Energimyndigheten som innehåller möjligheter för fossilfritt flyg är exempelvis Hållbar batterivärdekedja³⁶, Hållbara transportsystem³⁷, Bio+³⁸ och Pilot och demonstration³⁹.

³⁵ För mer information se: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/tio-nya-forskningsprojekt-ska-bidra-till-ett-fossilfritt-flyg/>.

³⁶ För mer information, se <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/batterier/hallbar-batterivardekedja/>.

³⁷ För mer information, se <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/transporter/hallbara-transportsystem/>.

³⁸ För mer information, se <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/bioenergi/bio/>.

³⁹ För mer information, se <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/affarsideer-test-och-internationalisering/pilot-och-demonstrationsprojekt/>.

Verket för innovationssystem (Vinnova) delar ut medel till aktörer inom industri, institut eller akademi för flygteknisk forskning genom utlysningar inom Nationella flygtekniska forskningsprogrammet (NFFP). Forskningsprogrammet erbjuder finansiering för projekt som genom ökad samverkan, forskning och innovation bidrar till att stärka flygindustrins konkurrenskraft och skapa bättre förutsättningar inom flygteknikområdet.⁴⁰ Programmet har stort fokus på akademisk utveckling och omsluter cirka 80 miljoner kronor per år i stöd.

Innovair⁴¹ är Sveriges nationella strategiska innovationsprogram (SIP) för flyg. Programmet drivs av Vinnova och samlar samt stöder olika aktörer från företag, universitet, högskolor, institut, intresseorganisationer och myndigheter verksamma inom flygteknikområdet. Det strategiska innovationsprogrammet har en koordinerande och initierande roll i forskningslandskapet men är nu slutstadiet av programperioden.

Trafikverket bedriver och samordnar forskning inom luftfartsområdet, ofta i nära samarbete med Luftfartsverket och andra aktörer. Trafikverket finansierar inom sitt ansvarsområde för flygplatser och infrastruktur ett flertal forskningsprojekt. Flygforskningsportföljen har fått utökande medel till att omfatta 80 miljoner kronor årligen. Utgångspunkterna för Trafikverkets forskningsfinansiering uppdateras årligen i FOI-planen⁴², som anger vilka områden som är mest prioriterade.

Luftfartsverket deltar i flygforskning som berör luftrummet främst genom SESAR⁴³ där bland annat virtuella flygledartorn och flygledning ingår.

Vidare är Sustainable Aviation Fuels (SAF) ett område i fokus för europeiska forskningsinsatser. Detta inkluderar vätgas som flygbränsle där det både kan förbrännas i traditionella gasturbinmotorer såväl som användas i bränsleceller för elektrifierade flygplan.

Kompetenscentrum för hållbara turbinbränslen för luftfart och kraftproduktion (CESTAP⁴⁴) kommer att utveckla nya bränsleproduktionsvägar och fossilfria bränslen samt arbeta med potentiella modifieringar av turbinmotorer eller turbinmotorkomponenter för luftfart, sjötransport och reservkraftsproduktion.

Staten stöttar på olika sätt utvecklingen av nya innovativa lösningar inom elflygsområdet. Ett exempel är projektet ELISE, som finansierats av Vinnova, och som bland annat resulterat i utvecklingen av ett elhybrid-flygplan⁴⁵.

EU:s forskningssatsning Clean Air Innovation⁴⁶ syftar till att utveckla och implementera banbrytande teknologier för att minska luftföroreningar och förbättra luftkvaliteten i Europa. Initiativet fokuserar på flera nyckelområden, inklusive utveckling av ultralätta och energieffektiva flygplansarkitekturer, integration av nya

⁴⁰ För mer information se: <https://www.vinnova.se/e/starkt-svensk-flygteknisk-forskning-och-utveckling/starkt-svensk-flygteknisk-forskning-och-innovation/>.

⁴¹ För mer information, se <https://innovair.org/>.

⁴² Läs mer på <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/forskning-och-innovation/lamna-forslag-pa-forskning/>.

⁴³ SESAR är ett europeisk gemensamt bolag som utgör den tekniska pelaren av det europeiska gemensamma luftrummet. Bolaget driver olika projekt för teknisk utveckling av den europeiska flygtrafikledningen. Läs mer på <https://www.sesarju.eu/>.

⁴⁴ Läs mer på <https://cestap.se/>.

⁴⁵ Läs mer på <https://www.vinnova.se/p/elise---elektrisk-lufttransport-i-sverige/>.

⁴⁶ Läs mer på <https://cainnovation.com/>.

flygplanskoncept och utvärdering av deras miljöpåverkan. Ett särskilt fokus ligger på att utveckla vätgasdrivna flygplan.

10.2 Behov av fortsatt arbete med forskning och innovation

Flyget behöver som övriga delar av samhället ställa om och bidra till de energi- och klimatpolitiska målen. Idag finns flera utvecklingsvägar som kompletterar varandra. För att flygets omställning till fossilfrihet ska bli möjlig behövs mer forskning och innovation om hållbara förnybara bränslen som kan användas i befintliga flygplan, utveckling av elflygplan och flygplan med vätgasdrift, samt forskning inom olika typer av systemrelaterade frågor. I och med att dessa nya tekniker och värdekedjor är under utveckling behövs fortsatt stöd.

Energimyndigheten har under åren 2018 till 2021 haft ett regeringsuppdrag att genomföra satsningen Fossilfritt flyg 2045 (Näringsdepartementet, 2018). Programmet hade en budget på 20 miljoner kronor 2018, 30 miljoner kronor 2019 samt 50 miljoner per år 2020–2022. Från och med 2022 drevs insatsen vidare i samarbete med Trafikverket och Vinnova, utan ett särskilt uppdrag. Under perioden beviljades 34 projekt stöd inom programmet. Programmet rönt ett stort intresse, söktrycket var högt och det mottogs positivt av berörda aktörer. Energimyndighetens förslag är att en samlad satsning på forskning och innovation liknande programmet Fossilfritt flyg som Energimyndigheten hade för några år sedan bör återinföras. Detta är något Energimyndigheten även lyft i tidigare inspel till energiforskningspropositionen (Energimyndigheten, 2023a).

Området för fossilfritt flyg är i dagsläget komplext och fragmenterat, vilket försvårar möjligheten att skapa en sammanhållen nationell strategi för forskning och innovation. En fortsatt satsning på Fossilfritt flyg skulle kunna möjliggöra en förstärkt samverkan och skapa en gemensam plattform för forskning och innovation på området.

Vid fortsatt arbete med att utforma framtida forsknings- och innovationsinsatser bör hänsyn tas bland annat till tidigare genomförda utredningar. Ett flertal statliga utredningar har genomförts under de senaste åren och dessa bör sammanställas och samköras med de uppdrag som regeringen har gett till myndigheter, i syfte att identifiera och värdera olika forskningsinriktningar. En sådan syntes kan utgöra ett underlag för prioritering inom framtida forsknings- och innovationsinsatser.

10.3 Sammanfattande reflektioner

Stöd för forskning och innovation som kopplar till omställningen till ett fossilfritt flyg är idag både splittrat och otillräckligt dimensionerat. Forskningen bedrivs av flera myndigheter och program men det behövs mer medel för stöd till forskning och innovation.

För att snabba på utvecklingen behövs riktade och samordnade satsningar på forskning, innovation och demonstration. Erfarenheter från tidigare program som

Fossilfritt flyg 2045 visar att riktade satsningar är effektiva och efterfrågas av aktörerna, men att nuvarande struktur inte räcker för att skapa långsiktighet eller för att koppla forskning till industriell uppskalning. Energimyndighetens förslag är att en samlad satsning på forskning och innovation liknande programmet *Fossilfritt flyg 2045* bör återinföras. Detta är något Energimyndigheten även lyft i tidigare inspel till energiforskningspropositionen (Energimyndigheten, 2023a).

Tillsammans skulle sådana satsningar kunna lägga grunden för att framtidens hållbara flygteknik – från olika sorters hållbara flygbränslen till el- och vätgasdrift – kan utvecklas, testas och implementeras i den takt som omställningen till fossilfrihet kräver.

11 Omställningen av försvarets luftfart

Siffror över utsläpp från försvarets luftfart är inte offentliga då data för förbrukning av bränslen med mera är sekretessbelagt. Cirka 70 procent av Försvarsmaktens utsläpp kommer dock från flyget, främst från användning av Flygfotogen 75 som används i JAS 39 och i flera helikoptrar (FOI, 2021). Just flygets påverkan spelar därför en avgörande roll för militärens utsläpp och det svenska försvarets möjligheter att ställa om sin verksamhet.

Försvaret arbetar aktivt med omställningen och Försvarets forskningsinstitut genomförde exempelvis under 2020–2021 studien *Klimatneutral Försvarsmakt* för att bland annat se hur Försvarsmakten kan bidra till att uppnå Sveriges miljömål. Samtidigt är den överordnande uppgiften för Försvarsmakten att garantera operativ förmåga och en omställning får inte ske på bekostnad av att denna förmåga försämras (FOI, 2021).

Försvarsmaktens verksamhet är i de flesta fall undantagen från klimatlagstiftning och styrmedel, såsom EU:s utsläppshandelssystem. Däremot finns aspekter kring omställningen av den civila luftfarten som både påverkar och påverkas av försvarets verksamhet. Detta gäller speciellt i relation till användning av hållbara flygbränslen som också identifierats som det mest lovande för att möjliggöra en omställning inom Försvarsmakten de närmaste decennierna (FOI, 2021).

11.1 Försörjningstrygghet och efterfrågan på hållbara flygbränslen

Beroendet av fossila bränslen är en central fråga för Försvarsmakten och totalförsvarets beredskap, särskilt i ett läge där tillgången på fossila bränslen kan minska när det civila samhället ställer om (FOI, 2021). En inhemsk produktion av biobränslen skulle därför kunna stärka försörjningstryggheten och bidra till ökad beredskap.

Det finns god potential för Försvarsmaktens luftfart att använda SAF, och tester med upp till 100 procent bioflygbränsle har varit framgångsrika. För militär användning krävs dock att bränslet uppfyller specifika krav som i vissa avseenden är strängare än de som gäller för civil luftfart. Detta gäller exempelvis lagringsbarhet och bränslestabilitet. Det nuvarande bränslet som försvaret använder, Flygfotogen 75, liknar Jet A1 som är det dominerande bränslet inom civil luftfart, men har striktare krav på bland annat lagringsstabilitet. Det är alltså inte självklart att ett biobränsle som är godkänt för civil luftfart även kommer uppfylla kraven för militärt bruk (FOI, 2021).

Ett bränslebyte i försvarets verksamhet försvåras av att nya bränslen måste fungera i dagens materiel och farkoster, som både är av varierande ålder och förväntas vara i bruk under lång tid framöver, upp till flera decennier, utan att det krävs allt för stora ombyggnationer eller utbyte av teknik. Det kan även vara av värde att sträva efter

använda ett uttalat enhetsbränsle, vilket förenklar försörjningskedjorna och minskar behovet av att hantera flera olika bränslen. Vid diskussion om ökad SAF-produktion kan det därför vara viktigt att säkerställa att bränslet som produceras också uppfyller militärens specifika krav och behov. HEFA är en teknik (för mer information om olika tekniker se kapitel 7) som har lyfts fram som ett lovande alternativ för Försvarsmakten, då dess egenskaper ligger nära dagens militära flygbränsle (FOI, 2021).

Det finns dock även en potential att försvaret på sikt kan bidra till att öka efterfrågan på syntetiska flygbränslen och därmed kunna främja möjlig inhemsk produktion av dessa. Detta kan även ha positiva effekter för den svenska försörjningstryggheten. Eventuell implementering ligger dock sannolikt längre fram i tiden än HEFA som är en mer mogen teknik. Det vore positivt och önskvärt att försvaret undersöker vilka typer av bränslen, däribland syntetiska bränslen, de kan och bör använda i framtiden.

11.2 Koppling mellan civila och militära system

Det finns ett tydligt värde i att försvarets verksamhet utvecklas i takt med den civila sektorn. Exempelvis försvårar det för försvaret att få tag på fossila bränslen när dessa i större utsträckning fasas ut från det civila samhället. Försvarsmakten följer aktivt utvecklingen i civilsamhället för att kunna använda samma teknik, distributionskedjor och kompetens som den civila trafiken, vilket minskar behovet av att etablera egna system. Eftersom militära farkoster ofta används i flera decennier och inte alltid kan bytas ut eller anpassas till ny teknik, är det viktigt att analysera hur de kan drivas även på lång sikt och hur planeringen kan samordnas med den civila omställningen, även med hänsyn till totalförsvaret (FOI, 2021).

Försvarsmaktens behov måste alltså beaktas i energi- och teknikplaneringen så att den framtida bränsletillgången inte enbart utgår från den civila sektorn. Försvarsmaktens luftfart har även möjlighet att bidra till en stabil och långsiktig efterfrågan på hållbara flygbränslen, vilket kan stödja etableringen av dessa tekniker i samhället.

11.3 NATO och internationellt samarbete

De senaste årens försämrade säkerhetsläge och Försvarsmaktens expansion ställer ökade krav på tillgången på bränslen. Sveriges medlemskap i NATO innebär dessutom att Sverige behöver följa nya riktlinjer och säkerställa att infrastrukturen kan möta även andra allierade staters bränslebehov.

År 2021 antogs *NATO Climate Change and Security Action Plan*, som lyfter både behovet av att hantera de säkerhetsrisker som klimatförändringarna medför och möjligheterna att minska utsläpp och miljöpåverkan från militär verksamhet (NATO, 2024). Inom detta område sker samarbete med bland annat EU och FN (NATO, 2021). Engagemanget för militär miljö- och omställningsarbete har skiftat under senare år när andra säkerhetspolitiska frågor fått högre prioritet. Det är dock viktigt att

beakta att NATO-medlemskapet och ett fördjupat internationellt samarbete kan innebära framtida krav på det svenska försvaret vad gäller utsläpp, teknikutveckling och anpassning till gemensamma standarder. Detta bör beaktas speciellt sett till luftfartens omställning till fossilfrihet på längre sikt.

11.4 Sammanfattande reflektioner

Sammantaget kan konstateras att det, trots att Försvarmaktens luftfart är undantagen från flera civila krav och styrmedel, finns starka skäl att uppmärksamma behovet av omställning även inom försvarets verksamhet. Långsiktig planering och samordning mellan civila och militära system, krav på att framtida bränslen fungerar i Försvarmaktens många och långlivade farkoster samt behovet av säker tillgång på bränsle är centrala aspekter. Dessa faktorer är redan identifierade och är exempelvis något som ska belysas inom *Uppdraget att främja tillgången till hållbara, fossilfria och koldioxidsnåla drivmedel för sjöfart och luftfart* (Landsbygds- och infrastrukturdepartementet, 2025a).

Försvaret har en unik och strategiskt viktig roll i omställningen av luftfarten, dels på grund av höga och ökande utsläpp (i takt med att försvarsverksamheten växer), dels på grund av den beredskaps- och försörjningstrygghetsnytta som kan uppstå när militära behov samordnas med luftfartens omställning till fossilfrihet i övrigt. Ett minskat fossilberoende och en ökad inhemsk produktion av hållbara flygbränslen stärker Sveriges beredskap, då importberoende av fossila bränslen är en risk både i fredstid och vid kris. Försvarets luftfart har potential att använda SAF, och tekniktester visar att militära flygplan kan flyga med samma inblandning som civila. Att använda hållbara flygbränslen till Försvarmaktens verksamhet kan därför både öka robustheten i energiförsörjningen och fungera som en tidig och stabil efterfrågan som gör det möjligt att bygga upp svenska produktionskedjor. Det vore därför positivt och önskvärt att försvaret undersöker vilka typer av bränslen, däribland även syntetiska bränslen, de kan och bör använda i framtiden.

Försvarets omställning till fossilfrihet kan dessutom ge breda systemnyttor genom samordning med civila aktörer och internationella krav. Militära luftfartssystem följer i hög grad civil teknikutveckling, vilket innebär att investeringar i exempelvis laddinfrastruktur eller vätgaslösningar på civila flygplatser också kan stödja militär användning. Detta minskar behovet av parallella system och stärker totalförsvarets förmåga. Sveriges NATO-medlemskap innebär dessutom att bränsleinfrastrukturen måste kunna hantera allierade länders behov och följa Natos riktlinjer, som redan betonar klimatförändringar som en säkerhetsrisk. Det skapar möjligheter för Sverige att driva utvecklingen internationellt, men innebär också att försvaret behöver påbörja sin egen omställning till fossilfrihet för att möta framtida krav. Sammantaget kan Försvarmakten genom sin köpkraft, sina beredskapsbehov och sin samverkan med civila system ha stor potential att bidra till luftfartens omställning i stort.

12 Referenser

- Adler, E. J., & Martins, J. R. (2023). Hydrogen-powered aircraft: Fundamental concepts, key technologies and environmental impacts. *Progress in Aerospace Science*, 141, 100922. doi:<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2023.100922>
- Adu-Gyamfi, B. A., & Good, C. (2022). Electric aviation: A review of concepts and enabling technologies. *Transportation Engineering*, 9, 100134. doi:<https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100134>
- Airbus. (den 22 juni 2022). *First helicopter flight powered solely by sustainable aviation fuel*. Hämtat från <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2022-06-first-helicopter-flight-powered-solely-by-sustainable-aviation-fuel> den 13 november 2025
- Alliance for Zero-Emission Aviation. (juni 2024). *Flying on electricity and hydrogen in Europe*. Hämtat från https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/b7061156-c935-44f5-96b4-b0936d6bb5de_en?filename=202406_AZEA%20Vision_vfinal.pdf
- Ansell, P. (den 10 januari 2025). *Hydrogen Hybrid Power for Aviation Sustainable Systems (Hy2PASS)*. Hämtat från NASA: <https://www.nasa.gov/directorates/stmd/niac/niac-studies/hydrogen-hybrid-power-for-aviation-sustainable-systems-hy2pass/> den 14 november 2025
- Arvidsson, R., Nordelöf, A., & Brynolf, S. (2024). Life cycle assessment of a two-seater all-electric aircraft. *Int J Life Cycle Assess*, 29, 240-254. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-023-02244-z>
- Delegerad förordning 2023/1184. (2023). *Kommissionens delegerade förordning (EU) 2023/1184 av den 10 februari 2023 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 genom fastställande av en unionsmetod med närmare regler för produktion av förnybara flytande och gasformi*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32023R1184>
- Delegerad förordning 2023/1185. (2023). *Kommissionens delegerade förordning (EU) 2023/1185 av den 10 februari 2023 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 genom fastställande av ett minimitröskelvärde för minskningen av växthusgasutsläpp från återvunna kolbaser*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32023R1185>
- Direktiv 2003/87/EG. (2003). *Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsätter för växthusgaser inom gemenskapen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32003L0087>
- Direktiv 2009/12/EG. (2009). *Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/12/EG av den 11 mars 2009 om flygplatsavgifter*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/ALL/?uri=CELEX:32009L0012>
- Direktiv 2018/2001. (2018). *Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 av den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor*. Hämtat från <https://eur->

- lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:02018L2001-20240716
- Direktiv 2023/2413. (2023). *Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413 av den 18 oktober 2023 om ändring av direktiv (EU) 2018/2001, förordning (EU) 2018/1999 och direktiv 98/70/EG vad gäller främjande av energi från förnybara energikällor, och om upphävande av rådets dir.* Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32023L2413>
- EASA. (den 10 juni 2020). *EASA certifies electric aircraft, first type certification for fully electric plane world-wide.* Hämtat från European Union Aviation Safety Agency: <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-certifies-electric-aircraft-first-type-certification-fully> den 18 december 2025
- EASA. (2022). *European aviation environmental report 2022.* European Union Aviation Safety Agency. Hämtat från https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/eaer-downloads/230217_EASA%20EAER%202022.pdf
- EASA. (2024). *State of the EU SAF market in 2023 - Fuel reference prices, SAF capacity assessments.* European Union Aviation Safety Agency.
- EASA. (2025a). *European Aviation Environmental Report 2025.* Hämtat från EASA: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/eaer-downloads/EASA_EAER_2025_Book_v5.pdf
- EASA. (den 17 december 2025b). *ReFuelEU Aviation.* Hämtat från European Union Aviation Safety Agency: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/refueleu-aviation-digital-reporting-tool> den 13 januari 2026
- EASA. (2025c). *ReFuelEU Aviation Annual Technical Report - 2024 in review.* European Union Aviation Safety Agency.
- EASA. (den 28 mars 2025d). *EASA further extends consultation for proposed Means of Compliance to SC E-19.* Hämtat från European Union Aviation Safety Agency: <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/easa-further-extends-consultation-proposed-means-compliance-sc-e-19> den 17 december 2025
- EASA. (u.d.-a). *What are Sustainable Aviation Fuels?* Hämtat från European Union Aviation Safety Agency: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/eaer/sustainable-aviation-fuels/what-are-sustainable-aviation-fuels#eu-saf-clearing-house> den 19 december 2025
- EASA. (u.d.-b). *Sustainable aviation fuels.* Hämtat från European Union Aviation Safety Agency: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/eaer/sustainable-aviation-fuels> den 16 november 2025
- EEA. (2022). *Transport and environment report 2022: digitalisation in the mobility system : challenges and opportunities.* European Environment Agency. doi:10.2800/47438
- Energimyndigheten. (2023a). *Strategisk prioritering inom energiforskning och innovation.*
- Energimyndigheten. (2023b). *Utformning av klimatpremie för elflygplan.* ER 2023:05.
- Energimyndigheten. (den 2 juni 2025a). *Välkommen med skriftliga inspel om sjöfartens och luftfartens omställning till fossilfrihet.* Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2025/valkommen->

- med-skriftliga-inspel-om-sjöfartens-och-luftfartens-omställning-till-fossilfrihet/ den 14 januari 2026
- Energimyndigheten. (2025b). *Scenarier över Sveriges energisystem - Vägar till ett energisystem med nettonollutsläpp 2050*. ER 2025:13.
- Energimyndigheten. (den 6 juni 2025c). *Drivmedel 2024*. Hämtat från <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODhlN2IyNmUtMmQ4OC00MzFmLTlkZTEtMWNhZGNhZmFjNzkwIiwidCI6IjVjMTk0OGIzLWE5ODYtNDg1MC04M2YyLTQ2NTk2NWMzMmNhMSIsImMiOjph9> den 9 december 2025
- Energimyndigheten. (2026). *Styrmedel för en fossilfri sjöfart – Åtgärder och stöd för sjöfartens omställning*. ER 2026:03.
- EU-kommissionen. (2024). *Commission Staff Working Document: Impact Assessment Report, Part 3. Accompanying the document “Securing our future – Europe’s 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050*. SWD(2024) 63 final. Hämtat från https://openup.unipotsdam.de/pluginfile.php/192751/mod_resource/content/1/EU%20Commission.2024.Securing%20Our%20Future%20-%20Europes%202040%20Climate%20Target.Impact%20Assessment%20Report%20Part%203.pdf
- EU-kommissionen. (den 20 mars 2025a). *Indicative list of EEA airports benefitting from 100% support for the use of eligible aviation fuels for the reporting year 2024*. Hämtat från https://climate.ec.europa.eu/document/download/7eace0de-fbc8-46c5-b52c-80d50f406c58_en?filename=policy_transport_aviation_airport_100_support_en.pdf den 18 november 2025
- EU-kommissionen. (2025b). *Report from the Commission to the European Parliament and the Council - The ReFuelEU Aviation SAF flexibility mechanism*. COM/2025/59 final. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0059>
- EU-kommissionen. (den 5 november 2025c). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Sustainable Transport Investment Plan*. Hämtat från https://transport.ec.europa.eu/document/download/73447373-de2a-4ba4-9371-36d1186035d4_en?filename=COM_2025_664_STIP.pdf den 13 januari 2026
- EU-kommissionen. (den 29 juli 2025d). *Commission approves €36 million Danish State aid scheme to boost use of sustainable aviation fuel*. Hämtat från https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_1928 den 13 januari 2026
- EU-kommissionen. (2025e). *ReFuelEU Aviation*. Hämtat från https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en den 27 juni 2025
- EU-kommissionen. (u.d.-a). *Reducing emissions from aviation*. Hämtat från https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/reducing-emissions-aviation_en den 14 januari 2026
- EU-kommissionen. (u.d.-b). *Single European Sky*. Hämtat från https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/single-european-sky_en den 18 december 2025

- EU-kommissionen. (u.d.-c). *About the EU ETS*. Hämtat från https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/about-eu-ets_en den 12 november 2025
- EU-kommissionen. (u.d.-d). *EU ETS emissions cap*. Hämtat från https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/eu-emissions-trading-system-eu-ets/eu-ets-emissions-cap_en den 12 november 2025
- EU-kommissionen. (u.d.-e). *Market Stability Reserve*. Hämtat från https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-markets/eu-emissions-trading-system-eu-ets/market-stability-reserve_en den 12 november 2025
- Eurocontrol. (den 23 januari 2025). Eurocontrol European Aviation Overview 2024. Hämtat från <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2025-01/eurocontrol-european-aviation-overview-20250123-2024-review.pdf> den 13 november 2025
- Europeiska unionens råd. (2022). *55 %-paketet: reformen av EU:s utsläppshandelssystem*. Hämtat från <https://www.consilium.europa.eu/sv/infographics/fit-for-55-eu-emissions-trading-system/> den 13 november 2025
- Eurostat. (december 2025). *Air passenger transport statistics*. Hämtat från https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Air_passenger_transport_statistics den 11 december 2025
- FOI. (2021). *Klimatneutral Försvarsmakt – Analys av fossilfria vägval för försvarsgrenarna*. Totalförsvarets forskningsinstitut. Hämtat från <https://www.foi.se/rest-api/report/FOI-R--5201--SE>
- Förordning 1008/2008. (2008). *Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1008/2008 av den 24 september 2008 om gemensamma regler för tillhandahållande av lufttrafik i gemenskapen (omarbetning)*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:02008R1008-20201218>
- Förordning 2018/841. (2018). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/841 av den 30 maj 2018 om inbegripande av utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk i ramen för klimat- och energipolitiken fram till 2030 och om ändri*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32018R0841>
- Förordning 2020/852. (2020). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2020/852 av den 18 juni 2020 om inrättande av en ram för att underlätta hållbara investeringar och om ändring av förordning (EU) 2019/2088*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj?locale=sv>
- Förordning 2021/1119. (2021). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/1119 av den 30 juni 2021 om inrättande av en ram för att uppnå klimatneutralitet och om ändring av förordningarna (EG) nr 401/2009 och (EU) 2018/1999*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32021R1119>
- Förordning 2023/1805. (2023). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/1805 av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG*. Hämtat från EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805/oj?eliuri=eli%3Areg%3A2023%3A1805%3Aoj&locale=sv>

- Förordning 2023/2405. (2023). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation)*. Hämtat från EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2405/oj?locale=sv>
- Förordning 2023/857. (2023). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/857 av den 19 april 2023 om ändring av förordning (EU) 2018/842 om medlemsstaternas bindande årliga minskningar av växthusgasutsläpp under perioden 2021–2030 som bidrar till klimatåtgärder för att fullgör*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32023R0857>
- Förordning 2025/927. (2025). *Kommissionens delegerade förordning (EU) 2025/927 av den 20 maj 2025 om komplettering av Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG vad gäller åtgärder som antagits av Internationella civila luftfartsorganisationen för övervakning, rapportering...* Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/sv/TXT/?uri=CELEX%3A32025R0927>
- Genomförandeförordning 2018/2066. (2018). *Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2018/2066 av den 19 december 2018 om övervakning och rapportering av växthusgasutsläpp i enlighet med Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG och om ändring av kommissionens förordning (EU) nr 601/2012*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32018R2066>
- Genomförandeförordning 2024/1879. (2024). *Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2024/1879 av den 9 juli 2024 om tillämpningsföreskrifter för Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/87/EG vad gäller beräkning av kompensationskrav enligt Corsia*. Hämtat från <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/ALL/?uri=CELEX:32024R1879>
- IATA. (2023). *Operations Net Zero Roadmap*. International Air Transport Association. Hämtat från <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/operations-net-zero-roadmap.pdf>
- IATA. (2024a). *Executive Summary - Net Zero CO2 Emissions Roadmap*. International Air Transport Association. Hämtat från <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/executive-summary---net-zero-roadmaps.pdf>
- IATA. (den 15 november 2024b). *Chart of the week - Ramping up SAF through standalone HEFA facilities - Renewable Diesel Capacity around the Globe*. Hämtat från International Air Transport Association: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/ramping-up-saf-through-standalone-hefa-facilities/> den 14 november 2025
- IATA. (december 2025). *Net zero 2050: sustainable aviation fuels (SAF)*. International Air Transport Association. Hämtat från <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-sustainable-aviation-fuels/>
- ICAO. (2024). *Strategic Plan 2026-2050*. International Civil Aviation Organization. Hämtat från https://www.icao.int/sites/default/files/2025-02/ICAO-Strategic-Plan-2026-2050-V2_0.pdf
- ICAO. (2025a). *Skyward Action Realizing Aviation's Sustainable Future - 2025 ICAO Environmental Report*. The International Civil Aviation

- Organization. Hämtat från
<https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2025/ICAO-EnvReport-2025.pdf>
- ICAO. (2025b). *Operational Opportunities to Reduce Climate Effects of Contrails and Other Non-CO2 Emissions*. International Civil Aviation Organization Committee on Aviation Environmental Protection. Hämtat från
<https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/Documents/CAEP%20WG2/Report-on-Operational-Opportunities-to-Reduce-Contrails-and-Non-Co2-1.pdf>
- ICAO. (2025c). *CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels*. International Civil Aviation Organization. Hämtat från <https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA%20Eligible%20Fuels/ICAO-document-06-Default-Life-Cycle-Emissions-June-2025.pdf>
- ICAO. (2025d). *CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels*. International Civil Aviation Organization.
- ICAO. (2025e). *CORSIA Annual Sector's Growth Factor (SGF)*. International Civil Aviation Organization. Hämtat från
<https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA%20Central%20Registry/CORSIA-Annual-SGF2024-4ed-Rev1-2025.pdf>
- ICAO. (november 2025f). *CORSIA Eligible fuels*. Hämtat från International Civil Aviation Organization: <https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-fuels> den 10 december 2025
- ICAO. (2025g). *CORSIA methodology for calculating actual life cycle emissions values*. International Civil Aviation Organization. Hämtat från <https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA%20Eligible%20Fuels/ICAO-document-07-Methodology-for-Actual-Life-Cycle-Emissions-June-2025.pdf>
- ICAO. (u.d.-a). *Non CO2 Aviation Emissions*. Hämtat från International Civil Aviation Organization: <https://www.icao.int/environmental-protection/non-co2-aviation-emissions> den 17 december 2025
- ICAO. (u.d.-b). *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. Hämtat från International Civil Aviation Organization: <https://www.icao.int/CORSIA> den 26 januari 2026
- ICAO. (u.d.-c). *Sustainable Aviation Fuels (SAF)*. Hämtat från International Civil Aviation Organization: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF.aspx> den 19 juni 2025
- ICAO. (u.d.-d). *SAF Feedstocks*. Hämtat från International Civil Aviation Organization: <https://www.icao.int/environmental-protection/saffeedstocks> den 24 augusti 2025
- ICAO. (u.d.-e). *SAF Conversion processes*. Hämtat från International Civil Aviation Organization: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx> den 25 juni 2025
- Johansson, D. J., Azar, C., Pettersson, S., Sterner, T., Stettler, M. E., & Teoh, R. (2025). The social costs of aviation CO2 and contrail cirrus. *Nature Communications*, 16, 8558.
doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-025-64355-5>
- Kamb, A., & Larsson, J. (2019). *Klimatpåverkan från svenska befolkningens flygresor 1990 – 2017*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

- Hämtat från
https://research.chalmers.se/publication/506796/file/506796_Fulltext.pdf
- Klimat- och näringslivsdepartementet. (den 29 augusti 2024). *Uppdrag om effektivare stöd för laddinfrastruktur*. Hämtat från
<https://www.regeringen.se/contentassets/23995284d5014af49711a5df2e244f64/uppdag-om-effektivare-stod-for-laddinfrastruktur.pdf>
- Kusmierek, A., Galinski, C., & Stalewski, W. (2023). Review of the hybrid gas - electric aircraft propulsion systems versus alternative systems. *Progress in Aerospace Sciences*, 141, 100925.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2023.100925>
- Landsbyggs- och infrastrukturdepartementet. (den 20 maj 2025a). *Uppdrag att främja tillgången till hållbara, fossilfria och koldioxidsnåla drivmedel för sjöfart och luftfart*. Hämtat från
<https://www.regeringen.se/contentassets/3b91c21f792d4cfe99ac531c0867f449/uppdag-att-framja-tillgangen-till-hallbara-fossilfria-och-koldioxidsnala-drivmedel-for-sjofart-och-luftfart.pdf>
- Landsbyggs- och infrastrukturdepartementet. (den 18 december 2025b). *Myndigheter ska redovisa hur de säkerställt färdmedelsneutrala tjänsteresor*. Hämtat från
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2025/12/myndigheter-ska-redovisa-hur-de-sakerstallt-fardmedelsneutrala-tjansteresor/> den 26 januari 2026
- Luftfartsverket. (u.d.). *Miljö och hållbarhet*. Hämtat från
<https://www.lfv.se/om-oss/hallbarhetsarbete> den 18 december 2025
- NATO. (den 14 juni 2021). *NATO Climate Change and Security Action Plan*. Hämtat från <https://www.nato.int/en/about-us/official-texts-and-resources/official-texts/2021/06/14/nato-climate-change-and-security-action-plan> den 13 januari 2026
- NATO. (2024). *NATO Climate Change and Security Impact Assessment - Third Edition 2024*. North Atlantic Treaty Organization Secretary General. Hämtat från https://www.nato.int/content/dam/nato/legacy-wcm/media_pdf/2024/7/pdf/240709-Climate-Security-Impact.pdf
- Naturvårdsverket. (2023). *Analys av opt-in av ytterligare sektorer – kompletterande underlag till Naturvårdsverkets redovisning av regeringsuppdraget om ETS 2*. NV-09099-23.
- Naturvårdsverket. (den 16 december 2025a). *Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/> den 18 december 2025
- Naturvårdsverket. (den 16 december 2025b). *Utrikes sjöfart och flyg, utsläpp av växthusgaser*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-utrikes-sjofart-och-flyg/> den 18 december 2025
- Naturvårdsverket. (den 20 november 2025c). *Flygoperatörer*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/utslappshandel/flygoperatorer/> den 13 januari 2026
- Naturvårdsverket. (den 10 november 2025d). *Tillståndspliktiga verksamhetsutövare inom ETS 2*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/ets2-utslappshandelssystem-for-vagtransporter-byggnader-och-ytterligare-sektorer/verksamhetsutovare/> den 9 december 2025
- Naturvårdsverket. (den 12 december 2025e). *Beräkna direkta utsläpp från förbränning*. Hämtat från

- <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-klimatpaverkan/berakna-direkta-utslapp-fran-forbranning/> den 14 januari 2026
- Naturvårdsverket. (den 14 januari 2025f). *Laddning för båtar, flyg eller arbetsmaskiner*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/klimatklivet/laddinfrastruktur/icke-publik-laddning-och-laddning-forsjofart-flyg-eller-arbetsmaskiner/> den 22 januari 2026
- Naturvårdsverket. (2025g). Mejl med Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (den 19 januari 2026a). *Sveriges del av EU:s klimatmål*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-del-av-eus-klimatmal/> den 22 januari 2026
- Naturvårdsverket. (den 15 januari 2026b). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/> den 20 januari 2026
- Nilsson, M. (2023). *Temperaturhöjning i klimatpolitiken – en ESO-rapport om EU:s nya lagstiftning i svensk kontext*. Stockholm: Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi.
- NISA. (u.d.). *eVTOL [Electric Vertical Take Off and Landing]*. Hämtat från Nordic Initiative for Sustainable Aviation: <https://nisa.dk/sustainableaviation/#eVTOL> den 20 Januari 2026
- Näringsdepartementet. (den 26 april 2018). *Uppdrag att främja hållbara biobränslen för flyg*. Hämtat från https://www.regeringen.se/contentassets/7f05b0814e6648c191c5d41e50e8c825/n2018_02705.pdf
- Pattanayak, T., & Mavris, D. (2025). Battery technology for sustainable aviation: a review of current trends and future prospects. *Applied Energy*, 397, 126356. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126356>
- Project SkyPower. (2025). *Open letter: e-SAF tender funded by national governments to unlock the first projects in Europe*. Hämtat från https://project-skypower.org/sites/default/files/2025-06/Open%20letter%20for%20pilot%20e-SAF%20tender%20funded%20by%20national%20governments%20%20June%202025_2.pdf den 20 januari 2026
- Prussi, M., Lee, U., Wang, M., Malina, R., Valin, H., Taheripour, F., . . . Hileman, J. I. (2021). CORSIA: The first internationally adopted approach to calculate life-cycle GHG emissions for aviation fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111398. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111398>
- SFS 2024:1002. (2024). *Förordning (2024:1002) om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen*. Hämtat från Förordning om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen: <https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=2024:1002>
- SFS 2025:606. (2025). *Lag (2025:606) om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen*. Hämtat från Lag (2025:606) om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen: <https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=2025:606>

- Skatteministeriet. (den 15 december 2023). *Grøn luftfart i Danmark*. Hämtat från <https://skm.dk/media/nxucpgyd/aftaletekst-groen-luftfart-i-danmark.pdf> den 17 december 2025
- Skr. 2023/24:59. (den 21 december 2023). *Regeringens skrivelse 2023/24:59 Regeringens klimathandlingsplan – hela vägen till nettonoll*. Hämtat från <https://www.regeringen.se/contentassets/990c26a040184c46acc66f89af34437f/232405900webb.pdf>
- SkyNRG. (2024). *Sustainable aviation fuel market outlook*. Amsterdam: SkyNRG. Hämtat från <https://www.efuel-alliance.eu/fileadmin/Downloads/SAF-Market-Outlook-2024-Summary.pdf>
- Soleymani, M., Mostafavi, V., Hebert, M., Kelouwani, S., & Boulon, L. (2024). Hydrogen propulsion systems for aircraft, a review on recent advances and ongoing challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 91, 137 - 171. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.10.131>
- Staack, I., Sobron, A., & Krus, P. (2021). The potential of full-electric aircraft for civil transportation: from the Breguet range equation to operational aspects. *CEAS Aeronautical Journal*, 12, 803–819. doi:<https://doi.org/10.1007/s13272-021-00530-w>
- Suwaileh, W., Bicer, Y., Hail, S. A., Farooq, S., Yunus, R. M., Rosman, N. N., & Karajagi, I. (2025). Exploring hydrogen fuel as a sustainable solution for zero-emission aviation: Production, storage, and engine adaptation challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 121, 304 - 325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.03.348>
- Trafikanalys. (2020). *Elflyg – början på en spännande resa – redovisning av ett regeringsuppdrag*. Rapport 2020:12. doi:2020:12
- Trafikanalys. (2025a). *Svensk luftfarts konkurrenssituation 2025*. 2025:6. Hämtat från <https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2025/rapport-2025-6-svensk-luftfarts-konkurrenssituation.pdf>
- Trafikanalys. (2025b). *Luftfart 2024*. Trafikanalys Statistik 2025:8. Hämtat från <https://www.trafa.se/globalassets/statistik/luftfart/2024/luftfart-2024.pdf>
- Trafikverket. (2024). *Förutsättningar för elflyg i upphandlad flygtrafik*. 2024:100. Hämtat från <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1863566/FULLTEXT01.pdf>
- Trafikverket. (den 13 juni 2025a). *Gällande trafikavtal*. Hämtat från <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/planera-person--och-godstransporter/Planera-persontransporter/Trafikavtal/aktuella-trafikavtal/> den 12 november 2025
- Trafikverket. (2025b). Mejl.
- Transportstyrelsen. (den 5 september 2025a). *Beräkna din flygresas utsläpp*. Hämtat från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/miljo-och-halsa/Berakna-din-flygresas-utslapp/> den 11 december 2025
- Transportstyrelsen. (den 22 maj 2025b). *Statistik över flygtid och landningar*. Hämtat från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/om-oss/statistik-och-analys/statistik-inom-luftfart/flygtidsstatistik/> den 18 november 2025
- Transportstyrelsen. (2025c). *Flygtrafikstatistik - Utvecklingen under 2024*. TSL 2025-13. Hämtat från <https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/publikationer-och-rapporter/rapporter/luftfart/flygtrafikstatistik-2024.pdf>

VTI. (2025). *Flexibel och automatiserad laddning via energilager på flygplatser (FAACE)*. VTI resultat 2025:6. Hämtat från <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1989701/FULLTEXT01.pdf>

Bilaga 1: Beskrivning av CORSIA

CORSIA (från engelskans Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) är ett globalt klimatstyrmedel som beslutats och tagits fram av FN:s civila luftfartsorganisation ICAO (International Civil Aviation Organization). CORSIA innebär i korthet att det internationella flygets koldioxidutsläpp ska stabiliseras på en viss bestämd utsläppsnivå, även kallad baslinjen, som nu uppgår till 85 procent av 2019 års utsläpp. För att stabilisera utsläppen kan flygbolagen använda av ICAO godkända flygbränslen och/eller köpa godkända utsläppskrediter för de eventuella utsläpp som överstiger denna nivå. CORSIA är indelat i tre faser, där de två första (2021–2023 och 2024–2026) är frivilliga medan den tredje (2027–2035) blir obligatorisk för de länder som omfattas. I början av år 2026 uppgick antalet medverkande länder i CORSIA till 130 (totalt samlar ICAO 193 länder). CORSIA är i nuläget beslutat att fortsätta till 2035 och utvärderas regelbundet.

Reglerna för CORSIA är samlade i bilaga 16, volym IV, till Chicagokonventionen och i stödjande dokument, och dessa återfinns på ICAO:s hemsida (ICAO, u.d.-b).

Vilka flygningar omfattas av CORSIA?

ICAO kan bara reglera flygningar mellan olika länder, det vill säga internationella flygningar. Klimatstyrmedlet CORSIA omfattar därför enbart internationellt flyg⁴⁷.

Flygningar till och från följande länder är undantagna i systemet (om de inte frivilligt deltar): de allra fattigaste länderna, små önationer stadda i utveckling, länder utan havskust, samt länder med mycket låg andel internationell flygtrafik. De undantagna länderna måste dock ändå övervaka och rapportera sina utsläpp inom systemet. Om ett flygbolag från ett land som undantagits från deltagande i systemet flyger på en linje mellan två länder som ingår i systemet, så måste även flygbolaget från det undantagna landet kompensera för utsläppen på flygrutten som ingår i systemet.

För att systemet inte ska bli alltför administrativt betungande för de allra minsta operatörerna undantas även flygningar med flygplan mindre än 5,7 ton, flygoperatörer som släpper ut mindre än 10 000 ton koldioxid från internationella flygningar per år samt medicinska, humanitära och brandbekämpande flygningar. Likaså undantas nya operatörer på marknaden från deltagande i systemet i tre år.

I EU är flygsektorn även inkluderad i ETS1. Den ursprungliga ETS1-lagstiftningen som antogs 2008 utformades att omfatta utsläpp från flygningar till, från och inom Europeiska ekonomiska samarbetsområdet (EES)⁴⁸. EU beslutade dock att tillfälligt begränsa tillämpningsområdet för EU:s utsläppshandel till flygningar inom EES för att stödja utvecklingen av CORSIA. Flygningar till och från EES omfattas i stället av CORSIA. Mot bakgrund av lanseringen av CORSIA har denna begränsning förlängts

⁴⁷ Styrmedlet reglerar bara utsläppen av koldioxid, därmed omfattas inte de så kallade höghöjdseffekterna av flyget.

⁴⁸ EU:s medlemsstater plus Island, Liechtenstein och Norge.

flera gånger. Under den senaste revideringen av ETS1 förlängdes begränsningen en sista gång, fram till början av 2027.

Senast i juli 2026 ska EU-kommissionen göra en bedömning av om ytterligare åtgärder krävs för flygningar till och från Europa, i linje med kriterierna i utsläppshandelsdirektivet. Beroende på resultatet av denna bedömning kommer kommissionen att lägga fram ett lagstiftningsförslag som de menar skulle kunna utvidga tillämpningsområdet för EU:s utsläppshandel till avgående flygningar och undanta inkommande flygningar. Alternativt skulle förslaget kunna vara att bibehålla det inomeuropeiska tillämpningsområdet om CORSIA har stärkts och har en hög nivå av globalt deltagande och genomförande. Hur detta slutar är än så länge oklart.

EU:s medlemsstater (MS) har implementerat CORSIA för flygbolag baserade i EES genom ETS1. Enligt artikel 38 i Chicagokonventionen ska avvikelser mot det internationella regelverket anmälas till ICAO. Det finns vissa skillnader mellan ETS1 och den andra utgåvan av bilaga 16, volym IV, till Chicagokonventionen. Eftersom rådsbeslutet avser ett område där unionen har exklusiv extern befogenhet behöver en unionsståndpunkt om avvikelser fastställas som MS sedan anmäler till ICAO.

Hur beräknas baslinjen för CORSIA?

När CORSIA beslutades 2016 av ICAO:s generalförsamling beslutades även hur baslinjen skulle beräknas. Under 2019 och 2020 övervakades, rapporterades och verifierades utsläpp av koldioxid från internationella flygningar för att få fram ett genomsnitt över dessa år. Anledningen till att man valde två år var för att minska risken för ett så kallat ”extremår” som skulle riskera att påverka nivån. Det beslutsfattarna såg framför sig var exempelvis ett vulkanutbrott eller liknande som tidigare fått påverkan på internationell flygtrafik. Under år 2020 men även 2021 påverkades den internationella flygtrafiken kraftigt av Corona-pandemin som ledde till restriktioner och kraftigt minskat resande. Därför skulle baslinjen bli betydligt lägre än vad som hade förutspåtts. I ljuset av detta fattade ICAO:s råd i juni 2020 beslut att för den första fasen av CORSIA 2021–2023 endast utgå från utsläpp som skedde 2019. Samtidigt fattade ICAO:s råd även beslut att starta den periodiska översynen av systemet för att under generalförsamlingsmötet 2022 fatta beslut om baslinjen för resterande faser. Under generalförsamlingsmötet hösten 2022 beslutades att för CORSIA:s kommande faser 2024–2026 och 2027–2035 skulle baslinjen utgöras av 85 procent av 2019 års utsläpp.

Flygoperatörernas kompensationskrav enligt CORSIA

Ett flygbolags årliga krav på koldioxidkompensation beräknas som operatörens årliga koldioxidutsläpp som omfattas av kompensationskrav multiplicerat med en så kallad tillväxtfaktor.

Tillväxtfaktorn som ska användas utgörs till och med år 2032 av sektorns tillväxtfaktor och denna ändras varje år med hänsyn till sektorns årliga utsläpp. Sektorns årliga tillväxtfaktor räknas fram av ICAO och beräknas som totala

koldioxidutsläppen i sektorn (för de som omfattas av kompensationskrav) det specifika året (SE_y) minus baslinjen, dividerat med SE_y . För perioden 2033–2035 beräknas tillväxtfaktorn till 15 procent av den enskilda operatörens tillväxtfaktor och till resterande 85 procent av tillväxtfaktorn för sektorn.

I slutet av oktober 2024 publicerades sektorns tillväxtfaktor för år 2023 och den uppgick till noll, eftersom utsläppen år 2023 var lägre än baslinjen från år 2019. Sektorns tillväxtfaktor var noll även för åren 2021 och 2022 så flygoperatörerna har hittills inte haft några kompensationskyldigheter i CORSIA. Utsläppen för år 2024 medför dock kompensationskyldigheter. Sektorns årliga tillväxtfaktor för 2024 publicerades i oktober 2025 och reviderades i december 2025 och uppgår till 0,15405257 vilket ska användas vid beräkning av flygbolagens kompensationskyldigheter (ICAO, 2025e).

CORSIA:s efterlevnadsperioder är 3-årsperioder där operatörerna avstämmer sina kompensationskrav. De nuvarande efterlevnadsperioderna är: 2021–2023, 2024–2026, 2027–2029, 2030–2032 och 2033–2035. Dessa perioder är indelade i tre faser: pilotfasen (2021–2023), den första fasen (2024–2026) och den andra fasen (2027–2035). Deltagande i pilotfasen och den första fasen var frivilligt, medan den andra fasen är obligatorisk för ICAO:s medlemsstater.

Flygplansoperatörerna rapporterar användningen av CORSIA-berättigade bränslen (CORSIA Eligible Fuels, CEF, se avsnitt nedan) för efterlevnadsperioden och staten informerar operatören om dess slutliga kompensationskrav för den 3-åriga efterlevnadsperioden. Operatören måste sedan köpa och annullera berättigade reduktionsenheter motsvarande dess slutliga kompensationskrav för efterlevnadsperioden. Kommissionens genomförandeförordning (EU) 2024/1879 (Genomförandeförordning 2024/1879) vad gäller beräkning av kompensationskrav enligt CORSIA beskriver beräkningsmetoden för att ta fram mängden reduktionsenheter som ska annulleras. Den första efterlevnadsperioden 2021–2023 innebar som sagt inga kompensationskrav.

År 2023 använde fem av bolagen som allokerats till Sverige sig av CEF för att minska sina kompensationskrav i CORSIA, dvs. ungefär hälften av de antal flygbolag som hade allokerats till Sverige för det året. Mängden CEF utgjorde nästan en procent av total bränsleanvändning. För år 2024 verkar det som att inga bolag har rapporterat in användning av CEF i CORSIA. En möjlig anledning kan vara att flygbolagen ser det som mer fördelaktigt att rapportera hållbarhetsklassade bränslen inom ramen för ETS1.

Bränslen i CORSIA

CORSIA-berättigade bränslen CEF (CORSIA Eligible Fuels) består i dagsläget av hållbara flygbränslen SAF (Sustainable Aviation Fuels) och så kallade fossila flygbränslen med lägre utsläpp av växthusgaser LCAF (Lower Carbon Aviation Fuels). CORSIA berättigade bränslen är drop-in bränslen som kan användas direkt utan modifiering på bränslesystem eller motor. Inga ändringar behövs heller av bränsleleveransinfrastrukturen för CEF jämfört med konventionella flygbränslen. Under CAEP13 cykeln mellan 2023 och 2025 påbörjades ett arbete med att ta fram regelverk för växthusgasutsläppsberäkningar även för bränslen med stor andel el som insatsvara, förbättrade jordbruksmetoder, geologisk lagring av koldioxid (CCS) och

avfallsströmmar av gas. Det uppdaterade regelverket publicerades i juni 2025 (ICAO, 2025f).

LCAF Lower Carbon Aviation Fuels

Som CORSIA berättigat bränsle räknas alltså även fossila flygbränslen som uppfyller hållbarhetskriterierna i CORSIA regelverket, så kallade LCAF "Lower Carbon Aviation Fuels". Ett av hållbarhetskriterierna är att flygbränslet måste uppfylla en växthusgasutsläppsminskning på minst tio procent. Det finns flera olika tekniker och processer för att tillverka ett LCAF flygbränsle. Det kan till exempel vara infångning av koldioxid som bildas i tillverkningsprocessen. Det kan också vara användning av förnybar vätgas eller vätgas med lågt utsläpp av växthusgaser vid raffineringprocessen eller till exempel minskning av utsläppen av metan. Enligt beräkningarna för Long Term Global Aspirational Goal (LTAG)⁴⁹ tros LCAF ha en liten potential för att minska utsläppen (ICAO, u.d.-c). En av anledningarna till detta är att man i CORSIA inte får tillgodoräkna sig utsläppsreduktion för hela volymen av bränslena utan bara motsvarande den del som utgör reduktion.

SAF Sustainable Aviation Fuels

Hållbara flygbränslen SAF (Sustainable Aviation Fuels) finns definierade i CORSIA och är berättigade bränslen⁵⁰. Enligt beräkningarna för LTAG förutses olika varianter av SAF att bidra med en stor andel växthusgasutsläppsminskning (ICAO, u.d.-c). Hållbarhetskriterierna för ett CORSIA berättigat bränsle beskrivs i följande ICAO dokument (ICAO, 2025d). Sammanfattningsvis finns 14 olika hållbarhetskriterier för bränslen som är certifierade efter 1 januari 2024. Hållbarhetskriterierna skiljer sig något beroende på om det handlar om SAF eller LCAF men sammanfattningsvis för båda bränslena ska en växthusgasutsläppsminskning på minst tio procent erhållas (första hållbarhetskriteriet). Växthusgasutsläppsminskningen ska också vara permanent. Andra hållbarhetskriterier behandlar exempelvis påverkan på markens biologiska kolinnehåll, luft- och vattenkvaliteten, biologisk mångfald och mänskliga rättigheter.

Växthusgasutsläppsminskningen beräknas från ett livscykelperspektiv och jämförs sedan mot växthusgasutsläppet för den fossila motsvarigheten av flygbränsle som är definierat som 89 gCO₂eq/MJ i ett så kallat "well to wake" perspektiv. Det innebär utvinning av råolja, transport och raffinering samt förbränning av flygbränslet. För att ett CORSIA berättigat bränsle ska anses vara hållbart behöver växthusgasutsläppet ur ett livscykelperspektiv alltså vara lägre än 80,1 gCO₂eq/MJ (10 procent minskning jämfört med den fossila motsvarigheten). Det totala livscykelutsläppet för flygbränslet kan antingen beräknas av aktören själv via faktiska värden eller använda defaultvärden. Metoden för att beräkna växthusgasutsläppet för ett CORSIA berättigat bränsle finns beskrivet av ICAO (ICAO, 2025g). Default värden för växthusgasutsläpp för CORSIA berättigade bränslen finns listade av ICAO (ICAO, 2025c). Det totala livscykelutsläppet för ett CORSIA berättigat bränsle L_{CEF} beräknas enligt:

$L_{CEF} = \text{core LCA värde} + \text{ILUC värde} - \text{emissionskrediter}$

⁴⁹ ICAOs långsiktiga mål att flygtrafiken ska nå nettonollutsläpp av växthusgaser till 2050.

⁵⁰ Notera att ordet SAF Sustainable Aviation Fuels används för olika typer av hållbara bränslen. Hållbarhetskriterierna för CORSIA berättigat bränsle inte nödvändigtvis är samma som inom till exempel EU och ReFuelEU Aviation.

Värdet på L_{CEF} ska beräknas från utsläppen av CH_4 (metan), N_2O (dikväveoxid) och icke biogen CO_2 (koldioxid) utifrån den globala uppvärmningspotentialen utifrån ett 100-årigt perspektiv (GWP100). Beräkningen av core LCA värdet innefattar hela leveranskedjan från odling av grödan till förbränning av flygbränslet i en flygplansmotor. Beroende på vilken typ av råvara som används definieras systemgränserna olika. Till exempel råvaror som definieras som avfall behöver inte ta med utsläpp från odlingen av råvaran till core LCA värdet och kan då ge ett lägre core LCA värde. ICAO arbetar kontinuerligt med att klassificera råvaror och listan finns publicerad här (ICAO, u.d.-d). Utsläppen från biogen CO_2 räknas som noll vid förbränningen i flygplansmotorn. En mer detaljerad beskrivning av beräkningen av växthusgasutsläppet för L_{CEF} finns i tidskriften "Renewable and sustainable Energy Reviews" (Prussi, o.a., 2021). I (Prussi, o.a., 2021) ges också exempel på core LCA värdena för olika råvaror uppdelade på de olika stegen i leveranskedjan. Låga växthusgasutsläpp ses från råvaror som klassas som avfall och restprodukter. I Fischer Tropsch metoden för att tillverka hållbart flygbränsle ger flygbränsle från restprodukter från jordbruk och skogsbruk låga utsläpp av växthusgaser. Till exempel råvaran använd matolja ger ett flygbränsle med lågt utsläpp av växthusgaser från HEFA metoden. För Fischer Tropsch metoden och restprodukter från jord och skogsbruk domineras växthusgasutsläppen av transport av råvaran medan råvaran använd matolja och HEFA processen har det största utsläppet av växthusgaser för själva raffineringen av råvaran till flygbränsle. De högsta utsläppen av växthusgaser har till exempel flygbränsle från råvaran palmolja via HEFA processen eller majs via både "etanol till jet" och "isobutanol till jet" processerna. Värdena i publikationen Prussi o.a. (2021) kan skilja sig något jämfört med (2025c). Då ICAO kontinuerligt arbetar med att förbättra processerna är det värdena för växthusgasutsläppet i ICAO (2025c) som ska användas.

Ett ökat behov av biobränslen från olika grödor kan orsaka expansion av odlingsmark och på så sätt orsaka utsläpp av växthusgaser genom så kallad inducerad markanvändningsförändring (ILUC). För att ta hänsyn till det behöver dessa utsläpp kvantifieras och ett ILUC värde adderas till core LCA värdet för det totala utsläppet av växthusgaser. Eftersom ILUC emissionerna är svåra att kvantifiera och mäta har CORSIA infört ett system där ILUC emissionerna modelleras. Två modeller används för att ta fram ILUC värden för CORSIA berättigade bränslen GTAP-BIO och GLOBIOM, mer information och referenser finns här (Prussi, o.a., 2021). Värdena på ILUC emissionerna som ska användas för beräkning av utsläppen för ett CORSIA berättigat flygbränsle finns här (ICAO, 2025c). Ett ILUC värde beräknas för olika regioner, råvaror och processvägar. Ett ILUC värde kan både vara positivt och negativt. Exempel på grödor som har ett positivt ILUC värde är majs, olja från sojabönor, palmolja och sockerrör. Ett negativt ILUC värde beräknas för olika energigrödor till exempel miscanthus. Råvaror som klassas som avfall och restprodukter får ILUC värdet noll. Grödor som tagits fram från jordbruk som kan påvisa rutiner för låg ökad markanvändning kan också certifieras av CORSIA till ett ILUC värde lika med noll. Värt att notera är att livsmedel och fodergrödor kan användas som råvara till ett CORSIA berättigat bränsle, vilket de inte kan inom till exempel ReFuelEU Aviation, men i CORSIA räknar man som sagt med ILUC-värden i LCA-kalkylen i stället.

För att säkerställa att flygbränslet är säkert att använda inom luftfart behöver de också uppfylla och godkännas av vissa bränslestandarder till exempel ASTM International. Enligt ASTM International är både råvaran och processvägen kvalificerade. ASTM

standarden för konventionellt flygbränsle heter ASTM D1655 medan inblandningen av hållbart flygbränsle beskrivs i ASTM D7566. Inget hållbart flygbränsle får i dagsläget blandas in till 100 procent och i ASTM D7566 beskrivs också den maximala halten för inblandning. Den maximala halten för inblandning av hållbara flygbränslen beror på råvara och processväg och varierar i nuläget mellan fem och 50 procent. Det finns elva godkända processvägar för hållbart flygbränsle enligt ASTM D7566 men nya processvägar utvärderas kontinuerligt (ICAO, u.d.-e). Den dominerande processvägen för att tillverka SAF är HEFA och förväntas också vara det fram till 2030 enligt en analys av SkyNRG (SkyNRG, 2024). Hållbart flygbränsle från HEFA kan blandas in i konventionellt flygbränsle till 50 procent och en vanlig råvara är till exempel använd matolja (ICAO, u.d.-e).

Reduktionsenheter i CORSIA

Flygplansoperatörerna kan alltså kompensera utsläppsökningar genom att köpa utsläppskrediter eller reduktionsenheter som det kallas i CORSIA. För efterlevnadsperioden som vi är inne i nu, det vill säga 2024–2026, sker överlämningen av reduktionsenheter 2028. Sanktioner, för det fall då operatörerna inte uppfyller sina åtaganden, fastställs på nationell nivå och kan därmed variera mellan olika länder i världen.

ICAO:s råd beslutar enligt vilka standarder eller program utsläppskrediter/reduktionsenheter ska vara certifierade för att få användas inom CORSIA. Information om godkända program för utsläppskrediter finns på ICAO:s hemsida⁵¹. För EU:s del genomförs CORSIA inom ramen för EU:s utsläppshandelssystem, ETS1. Kriterierna för vilka reduktionsenheter som får användas för EU-baserade flygoperatörer för CORSIA definieras i utsläppshandelsdirektivet 2003/87/EC (Direktiv 2003/87/EG, 2003) och i EU:s delegerade förordning (EU) 2025/927 (Förordning 2025/927). Alla reduktionsenheter som överlämnas av EU-länder måste till exempel komma från ett land som skrivit under Parisavtalet. Den delegerade förordningen talar dessutom om hur mätning och rapportering ska ske.

Från 2024 till 2035 uppskattas det sammanlagda kompensationsbehovet till mellan 950 och 1500 MtCO₂ och enbart för fas I (2024–2026) förväntas efterfrågan på utsläppskrediter inom CORSIA motsvara ungefär 105 till 150 MtCO₂. Uppskattade kostnader för 2024–2026 skulle uppgå till cirka 1–5 miljarder USD med endast utsläppskrediter och 10–20 miljarder USD med en blandning av utsläppskrediter och alternativa bränslen. Dessa kostnader representerar cirka 0,07 till 1,1 procent av de internationella flygintäkterna under den perioden.

⁵¹ Se <https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-emissions-units>.

Bilaga 2: Beskrivning av ReFuelEU Aviation

Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/2405 av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation) ska tillämpas till sin fullo från och med 1 januari 2025 (EU-kommissionen, 2025e). ReFuelEU Aviation är en del av EU:s *Fit for 55-paket* för att sänka utsläppen av växthusgaser med 55 procent till 2030 jämfört med 1990 års nivåer och fokuserar på flyget. ReFuelEU Aviation främjar också en enhetlig lufttransportmarknad inom unionen för att undvika snedvriden konkurrens.

Omställningen till hållbara flygbränslen avser även att öka unionens energitrygghet genom att göra unionen mindre beroende av importerade fossila flygbränslen från tredje länder. Förordningen är tillämplig på luftfartygsoperatörer, unionsflygplatser och flygbränsleleverantörer. ReFuelEU Aviation tillämpas på luftfartyg som används inom civil luftfart och utför kommersiella flygtransporter. Regelverket tillämpas inte på militära flygningar eller flygningar för humanitära ändamål inklusive polis, brandbekämpning och medicinska ändamål. ReFuelEU Aviation innebär bland annat ett inblandningskrav för hållbara flygbränslen i konventionellt flygbränsle vid unionsflygplatser⁵² inom EU. Inblandningskravet för minimiandelar ökar successivt, se Tabell 4. Sanktionsavgifter tillkommer också. Under de första tio åren finns även en flexibilitetsmekanism där flygbränsleleverantörerna kan leverera flygbränsle med en högre andel hållbart flygbränsle till en unionsflygplats för att kompensera mot en lägre andel hållbart flygbränsle som är levererat till en annan unionsflygplats.

Tabell 4 Inblandningskrav på hållbart och syntetiskt flygbränsle enligt ReFuelEU Aviation.

Minimiandel	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hållbart flygbränsle	2 %	6 %	20 %	34 %	42 %	70 %
Varav Syntetiskt flygbränsle	-	0,7 - 2 %	5 %	10 %	15 %	35 %

Anm. Tabellen avser minimiandel. Under perioden 1 januari 2030 till 31 december 2031 ska den genomsnittliga andelen syntetiska flygbränslen vara 1,2 procent. Under perioden 1 januari 2032 till 31 december 2034 ska den genomsnittliga andelen syntetiska flygbränslen vara 2,0 procent.

Hållbara flygbränslen enligt ReFuelEU Aviations definition

Hållbara flygbränslen är flytande flygbränslen som är fullt blandbara med konventionella flygbränslen och kan användas i befintliga luftfartyg och infrastruktur. Flygbränslet måste uppfylla gällande standarder. ReFuelEU Aviation beskriver också

⁵² Definition unionsflygplats: en flygplats enligt definitionen i artikel 2.1 i Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/12/EG (12), där passagerartrafiken under föregående rapporteringsperiod översteg 800 000 passagerare eller godstrafiken översteg 100 000 ton, och som inte är belägen i ett av de yttersta randområdena enligt förteckningen i artikel 349 i EUF-fördraget (Direktiv 2009/12/EG).

andra hållbara flygdrivmedel så som el och vätgas men användningen av sådana luftfartyg ses som troliga först på lite längre sikt. I medlemsstaternas handlingsprogram inom AFIR ska en lägesbeskrivning och de planerade åtgärderna för alternativa drivmedel beskrivas (Förordning 2023/1804).

Hållbara flygbränslen definieras i ReFuelEU Aviation som antingen:

- Syntetiska flygbränslen
- Biodrivmedel för flyg, eller
- Återvunna kolbaserade flygbränslen

I de vidare definitionerna av dessa tre typer av flygbränslen hänvisas det till definitionerna i förnybartdirektivet (Direktiv 2018/2001). Dock görs det för biodrivmedel ytterligare begränsningar i ReFuelEU Aviation utöver vad som gäller enligt förnybartdirektivet. Biodrivmedel i ReFuelEU Aviation kan antingen vara avancerade biodrivmedel enligt artikel 2.34, biodrivmedel enligt definitionen i artikel 2.33 som produceras av råvaror från del B i bilaga IX, eller biodrivmedel enligt definitionen i artikel 2.33 med undantag för biodrivmedel som producerats från livsmedels- eller fodergrödor enligt definitionen i artikel 2.40 i det direktivet, som uppfyller hållbarhetskriterierna och kriterierna för minskade livscykelutsläpp i artikel 29 i det direktivet och som är certifierade i enlighet med artikel 30 i det direktivet. Hållbara flygbränslen som produceras av mellangrödor, palmfettsyradestillat, material från palmolja, material från sojabönor, samt soapstock och derivat därav kan inte heller användas för att uppfylla inblandningskraven. Biodrivmedel med hög risk för indirekt ändring av markanvändning ska heller inte främjas. För återvunna kolbränslen respektive syntetiska flygbränslen (förnybara drivmedel av icke-biologiskt ursprung) gäller definitionerna i artikel 2.35 och 2.36 och som båda uppfyller tröskelvärdet för minskade livscykelutsläpp enligt artikel 29.2a respektive 29.1a och är certifierade enligt artikel 30. Utöver de tre typer av bränslen som räknas som hållbara ovan får även förnybar vätgas för luftfart och så kallade koldioxidsnåla flygbränslen användas för uppfyllandet av minimiandelarna.

Skyldigheter och krav

Inblandningskravet i ReFuelEU Aviation gäller vid alla så kallade unionsflygplatser i EU och dessa täcker 95 procent av all transport från en EU flygplats (EU-kommissionen, 2025e). För rapporteringsperioden 2025 har Sverige fem unionsflygplatser. Dessa är i bokstavsordning Göteborg/Landvetter, Luleå/Kallax, Malmö/Sturup, Stockholm/Arlanda och Stockholm/Bromma (EU-kommissionen, 2025e). En medlemsstat får, efter samråd med flygplatsens ledningsenhet, besluta att en flygplats som inte uppfyller definitionen av unionsflygplats och som är belägen på dess territorium ska behandlas som en unionsflygplats vid tillämpningen av denna förordning.

ReFuelEU Aviation innebär ett tankningskrav för luftfartygsoperatörerna att den årliga mängd flygbränsle som tankas av en viss luftfartygsoperatör ska vara minst 90 procent av det årliga flygbränslebehovet. Anledningen till kravet är att undvika så kallad ekonomitankning där luftfartygsoperatörerna tankar mer flygbränsle där priset är fördelaktigt. Unionsflygplatsens ledningsenhet ska också vidta alla nödvändiga åtgärder för att underlätta för luftfartygsoperatörerna att få tillgång till de mängder hållbart flygbränsle som krävs för att uppfylla inblandningskravet. Det går att ansöka

om undantag för luftfartygsoperatörerna hos ansvarig tillsynsmyndighet, kriterierna för undantag finns beskrivna i ReFuelEU Aviation. Det är Transportstyrelsen som hanterar detta.

Både luftfartygsoperatörer och flygbränsleleverantörer har rapporteringsskyldigheter inom ReFuelEU Aviation. Rapporteringen för luftfartygsoperatörerna sker via EASA:s portal (EASA, 2025b) medan flygbränsleleverantörerna ska rapportera via EU:s Unionsdatabas. Luftfartygsoperatörerna ska rapportera senast 31 mars varje år och första gången 2025. Luftfartygsoperatörerna ska bland annat rapportera mängder flygbränsle och hållbart flygbränsle samt dess egenskaper. De ska även informera om den årliga otankade mängden för att uppfylla 90 procents kravet ovan.

Luftfartygsoperatörerna ska också rapportera in vilka växthusgassystem (ETS1, CORSIA etc.) de deltar i och vilka partier som de har använt till vilket system.

Luftfartygsoperatörerna får inte tillgodogöra sig förmåner från användning av ett och samma parti hållbart flygbränsle inom ramen för mer än ett växthusgassystem.

Luftfartygsoperatörernas rapport ska verifieras av en oberoende kontrollör.

Flygbränsleleverantörerna ska rapportera senast 14 februari varje år och första gången 2025. Flygbränsleleverantörerna ska redovisa mängden flygbränsle och hållbart flygbränsle levererat till varje unionsflygplats. Rapporten ska innehålla information om bränslets hållbarhetsegenskaper men även mängden svavel, aromater, naftalener samt energiinnehåll per parti. Medlemsstaterna ska ha regelverk på plats för att säkerställa att informationen är korrekt redovisad till unionsdatabasen enligt artikel 3 1a i förnybartdirektivet (Direktiv 2018/2001).

Sanktionsavgifter

ReFuelEU Aviation beskriver även krav på sanktionsavgifter om regelverket inte uppfylls. Sanktionsavgiften regleras av varje medlemsstat men är baserad på mängden otankade hållbara flygbränslen multiplicerat med prisskillnaden jämfört med konventionellt flygbränsle. EASA publicerar ett utkast och en full rapport varje år med referenspriser på flygbränsle som medlemsländerna uppmanas att använda vid beräkning av sanktionsavgifter (EASA, 2024). Eventuella sanktionsavgifter ska användas till att stödja forskning och utveckling inom området hållbara flygbränslen inom varje medlemsstat. Senast 25 september 2026 och därefter vart femte år ska medlemsstaterna skicka en rapport till kommissionen om hur sanktionsavgifterna har använts. ReFuelEU Aviation beskriver också krav att varje medlemsstat ska utse en eller flera ansvariga myndigheter för tillsyn enligt regelverket.

ReFuelEU Aviation innehåller också ett frivilligt enhetligt system för märkning av flygningars utsläpp av växthusgaser.

Svenska kompletterande bestämmelser

Det finns kompletterande svenska bestämmelser till ReFuelEU Aviation. Lag och förordning om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen finns nu publicerade. Lag om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen (SFS 2025:606) trädde i kraft 1 juli 2025 och Förordning om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen (SFS 2024:1002) den 1 augusti 2025. Lagen innehåller bland annat paragrafer om tillsyn, prövning av undantag och

sanktionsavgifter. Sanktionsavgifterna i Sverige ska vara en faktor två gånger skillnaden i pris för den otankade mängden hållbart flygbränsle. Det är EU:s minimikrav enligt ReFuelEU Aviation. Förordningen utser tillsynsmyndigheter, beskriver ytterligare detaljer om sanktionsavgifter samt ger tillsynsmyndigheterna bemyndigande att föreskriva om avgifter för sin tillsyn. Tidigare har även förordning (2024:1002) om tillhandahållande och användning av hållbara flygbränslen publicerats där Transportstyrelsen utses som tillsynsmyndighet för luftfartygsoperatörer, flygplatsansvarig och bränslehanterare. Energimyndigheten är där utsedd tillsynsmyndighet för flygbränsleleverantörerna (SFS 2024:1002).

Bilaga 3: Motiv för styrning

För att uppnå ett politiskt mål kan det vara hjälpsamt att utgå från vilka hinder som finns på vägen dit, för att utforma styrmedlen på ett effektivt sätt. Vissa typer av hinder är dessutom sådana att de kan motivera statliga ingripanden för att uppnå ett mer gynnsamt utfall för samhället, även om det inte finns några uttalade mål att styra mot. Typexemplet är när det förekommer marknadsmisslyckanden, så att marknaden inte på egen hand leder till ett samhällsekonomiskt effektivt utfall. Det finns dock andra hinder som inte är marknadsmisslyckanden i snäv bemärkelse, men där statens ingripande ändå kan bidra till ett mer samhällsekonomiskt effektivt utfall. Det kan till exempel gälla om staten kan uppnå stordriftsfördelar, till exempel i transaktionskostnader (se nedan), jämfört med om aktörerna agerar på egen hand. Staten har också möjlighet att fördela risker över en större portfölj av projekt än ett enskilt företag, vilket innebär att staten i högre grad kan acceptera att vissa projekt fallerar om det samlade utfallet ändå blir positivt. Nedan diskuteras några av de hinder och marknadsmisslyckanden som kan vara relevanta för omställningen av luftfarten. Därutöver kan staten även ha intresse av att styra omställningen till fossilfrihet i en särskild riktning för att främja andra samhällsnyttor, såsom en god civil och militär beredskap.

Miljöexternaliteter

Miljöexternaliteter uppstår när en aktivitet ger upphov till miljöpåverkan som går ut över fler än dem som efterfrågar eller tillhandahåller dessa transporttjänster. För att de ska väga in samhällskostnaden för klimatet i sina beslut, på samma sätt som de väger in privata kostnader, finns ett antal styrmedel som i varierande grad sätter ett pris på denna klimatpåverkan. Om detta pris inte är tillräckligt för att minska klimatpåverkan i den mån samhället tycker är önskvärt är det mest effektiva normalt att skärpa styrmedlet så att det matchar samhällets ambitionsnivå, snarare än att hitta på ytterligare styrmedel som styr mot samma sak.

Klimatpåverkan är dock inte den enda miljöexternalitet som är relevant för luftfart. Andra aspekter som direkt eller indirekt är relevanta är bland annat luftföroreningar, buller och påverkan på växt- och djurliv. Utan styrmedel som hanterar dessa aspekter kommer omfattningen av lufttransporter att bli högre än vad som vore samhällsekonomiskt effektivt, vilket då också innebär en högre klimatpåverkan än vad som annars vore fallet. Idealt bör dock detta hanteras med styrmedel som riktas mot respektive miljöproblem.

Miljöexternaliteter är inte bara ett problem för konventionell luftfart (och dess bränslen), utan även mer klimativänliga alternativ kan i varierande grad behäftas av miljöexternaliteter. Detta gäller framför allt de fossilfria bränslena, som kan ge upphov till olika typer av miljöproblem i produktionen. För biobränslen kan råvaran ge negativa effekter vid odling/avverkning, antingen direkt eller indirekt genom att tränga undan annan produktion, till exempel av livsmedel. Direkta effekter kan hanteras med hållbarhetskriterier, men de indirekta effekterna är svårare att komma åt med annat än att omfattningen av aktiviteten begränsas. Syntetiska bränslen minskar behovet av bioråvara, även om kolbaserade elektrobränslen också förutsätter biogena

kolatomer⁵³, men kräver däremot stora mängder el. Produktionen av el, även fossilfri sådan, kan i sin tur ge upphov till olika miljökonsekvenser för till exempel strålsäkerhet eller biologisk mångfald. Utan kompletterande styrning riskerar därmed styrmedel som bara styr på klimatpåverkan att styra fel.

Innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden

Innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden uppstår när den privata avkastningen på teknisk utveckling understiger den samhällsekonomiska, så att satsningarna på teknisk utveckling därmed blir för låga. Detta kan bli fallet om den kunskap som en aktör tagit fram sedan utan full ersättning sprids till andra aktörer, så kallat kunskapsläckage. Dessa aktörer kan då vara med och skörda frukterna utan att ha behövt stå för de risker och kostnader som den initiala investeringen innebar. I så fall kommer inte ens en optimal prissättning av utsläppen att vara tillräcklig för att få ner utsläppen till en samhällsekonomiskt optimal nivå, eftersom drivkrafterna för att utveckla mer klimatsmart teknik är för låga.

Kunskapsläckage är ur ett perspektiv något positivt för samhället, eftersom kunskapen då gör större nytta. Samtidigt minskar incitamenten för privata aktörer att investera i teknisk utveckling, vilket är anledningen till att staten är med och finansierar såväl grundforskning som tillämpad forskning. Den statliga finansieringen sträcker sig dock normalt inte längre än till demonstrationsstadiet, men den tekniska utvecklingen upphör inte där. Tvärtom kan uppskalningen till kommersiell drift medföra nya utmaningar och nya lärdomar som kan användas för att förfinas tekniken och sänka kostnaderna.

Detta innebär att den som bygger den första farkosten, motorn, bränsleproduktionsanläggningen osv. av ett visst slag sannolikt kommer att få betala betydligt mer för den än den som bygger den andra, tredje, fjärde osv., när erfarenheterna från den första gjort det möjligt att sänka kostnaderna. Dessutom är risken rimligtvis betydligt lägre ju fler som byggs; även om själva tekniken prövats i demonstrationsskala kan uppskalningen till kommersiell produktion innebära nya utmaningar, och det är först när produkten säljs på marknaden som det går att se hur kunderna tar emot den. Varför skulle då någon vilja bygga den första av sitt slag om man i stället kan hoppas att någon annan går före så att man själv kan bygga till både lägre risk och kostnad? Detta gäller även om läreffekter gör att det så småningom blir billigare att bygga med den nya tekniken än med dagens teknik: så länge den nya tekniken är dyrare i början och ingen vill ta den initiala risken och kostnaden så kommer tekniker med potential att sänka kostnaderna aldrig till stånd.

För att nya tekniker och lösningar ska komma till stånd kan det alltså behövas stöd genom hela innovationsprocessen, inte bara grundläggande forskning utan hela vägen via pilot- och demonstrationsprojekt till fullskaliga investeringar i den nya tekniken.

⁵³ Förutom att använda fossila kolatomer, vilket knappast är aktuellt om syftet är att ställa om till fossilfrihet, är det också tekniskt möjligt att fänga in kolatomer från luften. Då koldioxidkoncentrationen i atmosfären är avsevärt lägre än i rökgaserna från till exempel ett fjärrvärmeverk blir dock detta mycket energikrävande och därmed mycket dyrt. Ur ett svenskt perspektiv förefaller det alltså under överskådlig tid som att elektrobränslen kommer att produceras med biogena kolatomer.

Det kan ske i form av regelrätta subventioner, för att kompensera för merkostnaden för den som utvecklar den nya tekniken. Här kan även olika typer av riskdelningsmodeller bidra, även om deras syfte inte primärt är att hantera låg lönsamhet på grund av höga initiala kostnader utan snarare hög risk, där staten har större möjlighet att sprida risker över en större portfölj.

Så länge det finns ohanterade miljöexternaliteter kommer incitamenten att utvecklas mer miljöanpassade lösningar emellertid att vara låg, så för att innovationsfrämjande styrmedel ska vara verkningsfulla behöver det också säkerställas att det finns styrmedel som skapar en efterfrågan på de mer miljöanpassade lösningarna. Annars är risken stor att stora resurser läggs på att utveckla tekniker som sedan aldrig kan bära sig på en marknad.

Nätverksexternaliteter

Nätverksexternaliteter kan uppstå när nyttan av en viss produkt ökar med fler användare. De första som köpte elbil var mer eller mindre hänvisade till egen laddning, men ju fler elbilar som rullar på vägarna, desto mer attraktivt blir det att bygga ut publik laddinfrastruktur. Den som köper en elbil ger därmed underlag för fler publika laddstationer till nytta också för dem som redan har en elbil. Detta kan så småningom bli ett självförstärkande process där fler laddstationer ger fler elbilar som ger fler laddstationer osv., men det kan krävas ett initialt stöd för viss publik infrastruktur för att utvecklingen överhuvudtaget ska komma i gång.

Luftfartens omställning till fossilfrihet väntas primärt ske med bränslen som är kompatibla med befintlig infrastruktur, men el och så småningom vätgas kräver ny infrastruktur. Situationen skiljer sig dock tydligt från vägtrafiken, då räckvidden för denna typ av flygplan är begränsad så att de hur som helst kommer att röra sig inom ett begränsat ”nätverk” av flygplatser. I den mån flygplanen rör sig på fasta rutter räcker det dessutom att det finns ladd- eller tankmöjligheter där.

Nätverksexternaliteter kan därför ha en mer begränsad relevans för omställningen av luftfarten än andra delar av transportsektorn.

Transaktionskostnader

Transaktionskostnader är kostnader för att en affär ska komma till stånd, utöver kostnaden för själva produkten. En energibesparande lösning kan ha mycket låga inköpskostnader i förhållande till de bränslekostnader den sparar, men till detta ska läggas kostnader i tid och pengar för att ta reda på vilka effektiviseringsmöjligheter som finns, vilka produkter och leverantörer som finns på marknaden osv. Här kan det finnas stordriftsfördelar: staten kan ofta samla in och tillhandahålla information till en lägre sammanlagd kostnad än om varje aktör själva ska göra detta på egen hand. På framväxande marknader kan staten också tillhandahålla plattformar där köpare och säljare kan finna varandra.

Bilaga 4: Enkätstudie om luftfartens omställning till fossilfrihet

Energimyndigheten har genomfört en enkätstudie om luftfartens omställning till fossilfrihet. I enkätundersökningen ställdes följande frågor:

- **Övergripande:**
 - Vad kan motivera flygplatser att investera i infrastruktur för fossilfria drivmedel såsom exempelvis el, vätgas eller hållbart flygbränsle SAF?
 - Vilka hinder ser ni med att få till den infrastruktur som krävs för framtidens fossilfria flyg? Vad är de största utmaningarna?
- **Infrastruktur:** (exempelvis framdraging av effekt till flygplatsen eller annan infrastruktur för fossilfria drivmedel/energibärare såsom el, vätgas eller hållbart flygbränsle SAF).
 - Hur ser kostnadsbilden ut för att kunna dra fram och installera den effekt som krävs för att kunna installera de laddningsstationer/enheter som förväntas behövas i framtiden? Vem står för kostnaden och risken?
 - Beskriv vilka kostnader som är de största.
 - Har flygplatsen möjlighet och viljan att hantera kostnader som kommer av att installera den infrastruktur som krävs för exempelvis laddning av elflygplan, t.ex. för att dra fram tillräcklig effekt till flygplatsen?
 - Finns det annan infrastruktur som innebär betydande kostnader för fossilfria drivmedel/energibärare? Beskriv kostnaderna och vilka investeringar som är mest angelägna att göra inom området infrastruktur för fossilfria drivmedel/energibärare.
 - Hur ser lägesbilden och kostnadsbilden ut när det gäller infrastrukturen för hållbart flygbränsle SAF och att kunna tillhandahålla hållbart flygbränsle vid flygplatsen?
- **Elflyg och laddningsenheter:**
 - Hur ser kostnadsbilden ut när det gäller att installera laddningsstationer/enheter för laddning av elflygplan?
 - Tekniken för laddning av elflygplan. Finns tekniken för att ladda med högre effekt på plats idag? Finns det möjlighet till snabbbladdning av elflygplan?
 - Finns det problem med standarder och investeringar? Det vill säga finns det teknik som inte har en tydlig standard ännu, vilket kan innebära att investeringar därför blir riskfyllda?
- **Vätgas:**
 - Finns det kostnader som har med installation av infrastruktur för flygplan som använder vätgas som drivmedel/energibärare och som kan bli aktuella för flygplatsen framöver? Om ja, hur pass stora förväntas dessa kostnader att bli?
 - Vad skulle krävas för att flygplatsen ska kunna erbjuda infrastruktur för vätgasflyg?
- **Stöd:**

- Finns det möjligheter redan nu att få stöd för de investeringar som krävs? Hur väl fungerar de stöd som redan finns för detta ändamål? Finns det behov av förbättringar/förenklningar?
- Ifall det skulle utvecklas ett stöd för att underlätta omställningen av luftfartssektorn, vilket område anser er flygplats skulle vara viktigast att rikta stöd till? Exempelvis infrastruktur för framdragningsav tillräcklig effekt för att kunna ladda elflygplan, eller stöd till laddningsstationer/enheter för elflygplan eller till infrastruktur som används för vätgas som drivmedel/energibärare till flygplan? Eller något annat?
- Vad är den största kostnaden och vad utgör det största hindret kostnadsmässigt för att kunna installera den infrastruktur eller utrustning som krävs för att kunna övergå till fossilfria drivmedel/energibärare såsom el, vätgas eller hållbart flygbränsle till flygplan vid er flygplats?
- Finns det något annat som ni som flygplats skulle vilja skicka med när det gäller kostnader kopplat till infrastruktur och utrustning för fossilfria drivmedel/energibärare till flygplan vid flygplatser?
- Vilka investeringar anser er flygplats kommer att vara viktigast och bidra mest till att fossilfria drivmedel/energibärare till luftfartyg (såsom el, vätgas eller hållbart flygbränsle), kan skalas upp och börja användas i högre utsträckning på er flygplats?
- **Övriga synpunkter:**
 - Har ni några övriga synpunkter som er flygplats skulle vilja framföra?

Enkätundersökningen riktades inledningsvis till 26 flygplatser, varav tio flygplatser var Swedavias flygplatser och 16 var regionala flygplatser. Samarbetsorganet Sveriges regionala flygplatser har även inkommit med ett samlat svar för sina övriga medlemmar, vilket innebär att det totala antalet flygplatser som ingick i enkätundersökningen var 42. Sammanlagt ingick 32 regionala flygplatser och tio Swedavia flygplatser i undersökningen. Av de 32 regionala flygplatser som ingick i undersökningen, är det tre flygplatser som inte klassas som trafikflygplatser (Trafikanalys, 2025b; Transportstyrelsen, 2025c), det vill säga flygplatser som inte har linjetrafik eller charterflyg. Flygplatser som inte klassas som trafikflygplatser har dock annan typ av flygtrafik såsom skol-, taxi-, affärs- och ambulansflyg.

Ett samlat svar har inkommit för Swedavias samtliga flygplatser och för de regionala flygplatserna har ett samlat svar inkommit för de flygplatser som inte har besvarat undersökningen enskilt. Därutöver har Energimyndigheten träffat representanter för Swedavia och haft ytterligare kontakt med Sveriges regionala flygplatser och enskilda flygplatser, för tydliggöranden kring svaren på frågorna i undersökningen.

I nedanstående avsnitt presenteras flygplatsernas svar på enkätundersökningen. Svaren återges genom att beskriva vilka svar som har inkommit i undersökningen och hur många flygplatser som svarat inom respektive identifierade svarsområden.

Flygplatsernas identifierade hinder och utmaningar

I undersökningen uppger 39 flygplatser att kostnader för infrastruktur till fossilfritt flyg utgör ett hinder och en utmaning. Flygplatsers ekonomi är något som 35

flygplatser lyfter fram som en utmaning. Tjugofyra flygplatser uppger att det är oklart vem som ska äga den framtida infrastrukturen och vilken roll som flygplatsen ska ha, samt att det finns svårigheter att avgöra de framtida behoven och när de nya luftfartygen kommer på plats.

Tjugofyra regionala flygplatser uppger att regionala flygplatser ofta drivs genom kommunala bolag och att samtliga går med förlust, vilket innebär svårigheter att göra kostsamma och osäkra investeringar. En annan regional flygplats uppger att flyget förväntas bekosta sin egen infrastruktur med intäkter från flygtrafiken och att förutsättningarna därmed skiljer sig mycket mellan olika flygplatser. Swedavias tio flygplatser är delvis inne på samma resonemang. Swedavia uppger att finansieringen av infrastruktur för el- och vätgasflyg till en början kommer att behöva ske i ett läge när det finns få flygplan som kommer att använda infrastrukturen. Swedavia uppger att faktumet att de är ett statligt självfinansierat bolag, innebär att all infrastruktur direkt eller indirekt behöver bekostas av flygplatsernas kunder.

Tjugofyra regionala flygplatser uppger att det behövs en politisk vilja och en tydlig behovs- och affärsgrund som saknas idag.

Tolv flygplatser (tio Swedavia och två regionala flygplatser) lyfter fram de tekniska osäkerheterna, bland annat gällande teknikval och standarder. Elva flygplatser (tio Swedavia och en regional flygplats) uppger att möjligheten till förstärkning av elnät utgör en utmaning. Två regionala flygplatser uppger att kompetensbrist är en utmaning, exempelvis inom el- och elnätfrågor. En annan regional flygplats uppger att elnätsbolagens riktlinjer varit utmanande, eftersom det begränsar flygplatsens möjlighet att leverera lokalt producerad el från solceller. En annan regional flygplats uppger att infrastruktur för fossilfritt flyg behöver finnas både på avrese- och destinationsflygplatsen, annars kommer ingen trafik att kunna bedrivas. Flygplatsen uppger vidare att det kan finnas en oro bland flygplatser att gå först när utvecklingen inte är koordinerad.

Svaren visar att det finns flera osäkerheter kring den framtida infrastrukturen för fossilfritt flyg och hur den ska finansieras. Flygplatsernas begränsade ekonomiska resurser för investeringar i infrastruktur för fossilfria drivmedel, framstår som en betydande utmaning. Samtidigt visar svaren att det finns osäkerheter om vem som ska äga och driva infrastrukturen. Detta innebär en ytterligare osäkerhet om vem som ska stå för kostnader och i slutändan hur omfattande kostnaderna blir för flygplatserna. Att flera flygplatser även uttrycker osäkerheter kring teknikval och utmaningar kring möjligheten att förstärka elnätet, innebär utmaningar och hinder som flygplatser ställs inför och troligtvis kan ha svårt att hantera i ett inledande skede. Inte minst utifrån att tekniken inom el- och vätgasflyg fortsatt är under utveckling.

Motiv för flygplatserna att ställa om

I undersökningen ställdes en fråga om vad som kan motivera flygplatser att investera i infrastruktur för fossilfria drivmedel såsom el, vätgas eller hållbart flygbränsle (SAF). 24 regionala flygplatser uppger att en motiverande faktor skulle vara om det fanns en nationell plan med gemensamma mål och en tydlig affärsmodell om hur de nya drivmedlen/infrastrukturen ska finansieras, som stöttas och finansieras av staten. 14 flygplatser (tio Swedavia och fyra regionala flygplatser) uppger att det behövs finansiering antingen genom staten eller EU. Flygplatserna uppger bland annat att

finansiering bidrar till att infrastrukturen kan anpassas snabbare och att finansiering behövs för att inte driva kostnadsökningar mot resenärerna. 13 flygplatser (tio Swedavia och tre regionala flygplatser) uppger att efterfrågan behövs för att motivera investeringar i ny infrastruktur. Swedavia uppger att ReFuelEU Aviation och nationella klimatmål driver på efterfrågan av fossilfria alternativ.

Elva flygplatser (tio Swedavia och en regional flygplats) uppger att samarbeten och partnerskap är viktiga. Swedavia nämner bland annat att ekonomiska möjligheter genom partnerskap med industri och energibolag, skapar potentialer och driver på utvecklingen av ett fossilfritt flyg. Den regionala flygplatsen nämner även att det finns fördelar att samarbeta med lokala energibolag. Elva flygplatser (tio Swedavia och en regional flygplats) uppger att det är en framtidssäkring att investera i infrastruktur för fossilfria drivmedel, för att infrastrukturen ska finnas på plats när väl nya luftfartyg för el- och vätgasflyg blir verklighet. Den regionala flygplatsen uppger att det som ska finnas på plats även omfattar tillhörande säkerhetsrutiner, kompetens med mera. Swedavias tio flygplatser uppger att en motiverande faktor är att omställningen ökar flygplatsers attraktivitet och hållbarhetsprofil. Flygplatser som är tidiga att introducera fossilfria drivmedel blir, enligt Swedavia, attraktiva nav för flygbolag och resenärer och kan locka nya trafikflöden och långlinjer. Swedavia uppger även att det bidrar till resiliens och regional energisäkerhet genom att fler energikällor används. En regional flygplats uppger att motivet till att introducera el- och vätgasflyg, är att kunna erbjuda trafik på nya sträckor och att öka den regionala tillgängligheten.

Svaren från flygplatserna visar att det finns många olika motiv som kan påverka flygplatsernas vilja att investera i infrastruktur för fossilfritt flyg. Alltifrån att det finns ett behov av en tydlig nationell plan och stöd från statens och EU:s sida, till att efterfrågan finns genom exempelvis regelverk och klimatmål. Svaren visar även att omställningen kan öka flygplatsers attraktivitet, resiliens, framtidssäkring och att trafik kan introduceras på nya sträckor.

Kostnader och investeringar

I undersökningen har flera frågor ställts om kostnader för att investera i infrastruktur för fossilfria drivmedel såsom el- och vätgasflyg och hållbart flygbränsle. 35 flygplatser uppger svårigheter att kvantifiera kostnader, eftersom det finns många osäkra faktorer. 34 flygplatser uppger att det tillkommer andra kostnader som relaterar till att introducera el- och vätgasflyg när flygplatserna samtidigt hanterar flytande bränslen. Enligt flygplatserna handlar kostnaderna om att av säkerhetsskäl planera för att skilja ladd- och tankplatser, nya krav på räddningstjänst med mera. Det innebär att flygplatser även får kostnader för ombyggnad, utbildningar och andra kostnader inom flygplatsen, oavsett om flygplatsen står för själva investeringen av infrastrukturen. 13 flygplatser (tio Swedavia och tre regionala flygplatser) uppger att ombyggnation för att möjliggöra ökad effekt genom förstärkningar av elnätet, troligtvis utgör den största kostnaden för flygplatser om det måste genomföras. En av de regionala flygplatserna uppger dock att kostnader för utbyggnad av elnät möjligtvis kan undvikas genom lokal elproduktion. Den regionala flygplatsen uppger samtidigt att solceller och batterilager är dyrt. Swedavias tio flygplatser uppger också att investeringar i energilager kan bli kostsamt. Fyra regionala flygplatser uppger att kostnader för infrastrukturen utgör de största kostnaderna för flygplatserna, exempelvis infrastrukturen för el- och vätgasflyg och tankning av de nya luftfartygen.

I undersökningen har även en fråga ställts om flygplatserna har möjlighet och viljan att hantera de kostnader som kommer av att installera ny infrastruktur för fossilfritt flyg. Tio Swedavia flygplatser uppger att kostnaderna i början kommer bli hög nedräknat för varje flygplansrörelse och att medfinansiering troligtvis kommer att behövas. Swedavia uppger dock att det inte är klarlagt om det är flygplatsen som ska stå för infrastruktur och energiförsörjning eller om det är energibolagens uppgift. Sju regionala flygplatser uppger att de har en ansträngd ekonomi, vilket gör att de inte kan stå för kostnaden själv utan behöver stöd. Tre av dessa flygplatser uttrycker dock en vilja att göra investeringar.

En regional flygplats som redan har gjort vissa investeringar i el- och vätgasflyg uppger att flygplatser har olika strategier. Vissa flygplatser väntar och ser hur det utvecklas och andra flygplatser har svårt att få fram medel från ägarna. Enligt den regionala flygplatsen kan den nya infrastrukturen för fossilfritt flyg användas av samhällsviktigt flyg och bidra till redundans i elsystemet, vilket skulle kunna motivera investeringar från statens sida. Enligt flygplatsen skulle det kosta några hundra miljoner kronor att installera elförsörjning för att hantera de batteridrivna elflygplan med nio säten som är närmast att introduceras. Swedavias tio flygplatser uppger att det även tillkommer annan infrastruktur och kostnader, exempelvis för bränslelogistik, digital infrastruktur och styrsystem. Vidare uppger Swedavia att de mest angelägna investeringarna ofta är de som möjliggör pilotprojekt och tidig drift av fossilfria flygplan.

I undersökningen ställdes även en fråga om vad som utgör det största kostnadsmässiga hindret. 22 regionala flygplatser uppger att det största hindret i början handlar om att besvara frågan vem som ska äga och driva den nya infrastrukturen. Dessa flygplatser uppger även att bristande ekonomiskt utrymme är en kostnadsmässig utmaning, samt att staten bör ta det ekonomiska ansvaret om implementeringen ska ske samtidigt på landets flygplatser. En annan regional flygplats uppger även att staten bör stå för kostnaden.

Swedavias tio flygplatser uppger att det tillkommer betydande investeringskostnader för att förbereda för el- och vätgasflyg, som innebär att förstärkningar av elnät kan behövas och att riskdelning genom stödåtgärder kan underlätta för flygplatserna att genomföra investeringar. Swedavia uppger att ett annat hinder är att investeringar måste göras innan det finns tillräcklig trafikvolym och att investeringarna därför är svåra att motivera utan extern finansiering. Tre regionala flygplatser är inne på liknande resonemang. De uppger att det är svårt att göra investeringar innan efterfrågan finns.

I undersökningen ställdes även frågor om eventuella medskick kring kostnader och vilka investeringar som är viktigast. 24 regionala flygplatser uppger att det behövs en samordnad nationell plan och en sammanhållen och statligt finansierad implementering. Swedavias tio flygplatser svarar att omställningen är en systemfråga och att det krävs samarbete mellan flygplatser, flygbolag, energibolag och myndigheter. Swedavia uppger även att det finns behov av nationell samordning, standardisering och gemensam finansiell riskdelning. En regional flygplats är inne på samma spår och uppger att det krävs nationell samordning och samråd med exempelvis flygbolag och att den ekonomiska risken vid felprioriteringar inte kan bäras av enskilda flygplatser.

Flygplatsernas svar visar att det finns flera olika kostnader och behov av investeringar. Utöver framdragning av effekt och ny infrastruktur, tillkommer andra typer av kostnader som en konsekvens av den nya tekniken och infrastrukturen. Det handlar om nya säkerhetsrutiner, utbildningar och ombyggnad av ytor med mera. Flygplatsernas svar visar samtidigt att det finns en betydande osäkerhet om hur omfattande kostnaderna kommer att bli och att det kan finnas behov av nationell samordning och finansiering. Slutligen visar svaren på komplexiteten utifrån de många faktorer som flygplatser har att förhålla sig till och att det kan behövas samarbeten och utbyten mellan flera olika aktörer såsom flygplatser, flygbolag, energibolag och myndigheter, för att omställningen till ett fossilfritt flyg ska kunna realiseras.

Stöd och stödmöjligheter

I undersökningen uppger 27 regionala flygplatser att det saknas stöd för de investeringar som krävs för att kunna tillhandahålla infrastruktur för fossilfritt flyg. 24 regionala flygplatser uppger att nuvarande statligt stöd till flygplatser inte täcker det ekonomiska underskott som regionala flygplatser har. 23 regionala flygplatser uppger att grundfrågan är vem som ska äga och driva den nya infrastrukturen och vem som ska göra investeringarna. Det är enligt flygplatserna i regel inte flygplatsen själv som äger tankanläggningarna. Flygplatserna undrar om samma upplägg kommer gälla för infrastrukturen inom el- och vätgasflyg. Swedavias tio flygplatser uppger att det finns vissa möjligheter att söka stöd via EU-program eller nationella innovationssatsningar. Enligt Swedavia är stöden dock oftast projektbaserade och kräver omfattande ansökningsprocesser. Swedavia anser att det finns en förbättringspotential i ansökningsprocesser och riktlinjer för stöden. Swedavia lyfter även möjligheten till långsiktig finansiering och riskdelning för att minska riskerna med de omfattande investeringar som krävs för att anpassa flygplatser till fossilfritt flyg.

I undersökningen ställdes även en fråga om vilka områden som flygplatserna anser är viktigast att stöd riktas till. 23 regionala flygplatser uppger att staten måste ta det ekonomiska ansvaret om implementeringen av fossilfritt flyg ska ske samtidigt på alla flygplatser i Sverige. Tolv flygplatser (tio Swedavia och två regionala flygplatser) uppger att om ett stöd utvecklas måste det vara heltäckande och med ett systemperspektiv. Swedavia uppger att stöd till fossilfritt flyg inte bör begränsas till specifika infrastrukturåtgärder, eftersom behovet kan variera kraftigt mellan flygplatser och är beroende av den trafikstruktur som är aktuell på kort och lång sikt. Swedavia uppger även att stöd bör omfatta en bättre finansiell riskdelning och inte minst för operativa kostnader. Två regionala flygplatser svarar att framdragning av tillräcklig effekt är prioriterad vid utveckling av stöd. En annan regional flygplats uppger dock att frågan involverar ett komplext regelverk och många aktörer för att kunna dra fram tillräcklig effekt, vilket riskerar att det bli komplicerat. Den regionala flygplatsen anser att det är enklare att ge stöd till hårdvaran för elflyg (transformator och laddare). Flygplatsen ger ett konkret exempel om att det uppskattningsvis skulle kosta 80 miljoner kronor att installera en 350 kWh laddare, som klarar första generationens elflygplan på alla flygplatser i Sverige med kommersiell flygtrafik, det vill säga cirka 40 flygplatser.

Svaren visar att det upplevs finnas bristande stödmöjligheter för att flygplatser ska kunna tillhandahålla infrastruktur för fossilfritt flyg. De stöd som ändå finns att tillgå

via EU-program och andra innovationssatsningar framstår som komplicerade. Det verkar därför finnas behov av nya eller riktade stödåtgärder för att kunna realisera infrastrukturen för fossilfritt flyg. Det är dock flera faktorer som behöver utredas, såsom vem som ska äga och driva infrastrukturen och vilka aktörer som därmed blir aktuella stödmottagare. Andra frågor som behöver besvaras är exempelvis hur den finansiella riskdelningen ska se ut och ifall stöd behöver ges till operativa kostnader. Därutöver behöver det utredas vilka eventuella framtida stödåtgärder som ska realiseras och hur dessa kan anpassas för att göra mesta möjliga nytta. Slutligen behöver det även utredas om och hur en introduktion av ny teknik för fossilfritt flyg ska ske samtidigt vid samtliga av landets flygplatser.

Hållbart flygbränsle (SAF)

Det är 34 flygplatser som uppger att hållbart flygbränsle (SAF) inte kräver någon ny infrastruktur för att det ska kunna användas vid landets flygplatser. 38 flygplatser uppger att det inte krävs några större investeringar för att hållbart flygbränsle ska kunna användas på landets flygplatser. Swedavias tio flygplatser anser att nuvarande kostnadsbild för hållbart flygbränsle är ett hinder och en faktor som försvårar långsiktig planering för flygplatser. 23 regionala flygplatser har uppgett att det är dyrare att få leveranser av hållbart flygbränsle till flygplatser ute i landet.

Det är 35 flygplatser som uppger att produktionen och efterfrågan av hållbart flygbränsle behöver öka. Swedavias tio flygplatser uppger att det behövs ekonomiskt stöd för att skala upp produktionsanläggningarna för hållbart flygbränsle. 24 regionala flygplatser uppger att efterfrågan på hållbart flygbränsle skulle kunna öka, om krav ställdes på offentlig sektor att köpa in hållbart flygbränsle när flyg används. En regional flygplats uppger att flygbolagen är ekonomiskt pressade, vilket gör att de kommer att flyga på det bränsle som är billigast tills att annat krävs. En annan regional flygplats uppger att det borde ställas krav på inblandning av hållbart flygbränsle i samtligt flygbränsle och inte bara vid de större flygplatserna. Vidare uppger en annan regional flygplats att leveranskedjorna för hållbart flygbränsle borde säkerställa att volymer och pris hamnar i nivå som för dagens flygbränsle.

Utiifrån svaren framstår användningen av hållbart flygbränsle som det främsta alternativet för att minska växthusgasutsläppen från luftfarten inom ett närmare tidsperspektiv, innan ny kompletterande teknik såsom el- och vätgasflyg finns på plats och är fullt implementerad. Det återstår dock flera utmaningar för att hållbart flygbränsle ska kunna tillhandahållas och användas i större skala. Bland annat behöver produktionen av hållbart flygbränsle öka. För att öka användningen av hållbart flygbränsle utgör prisskillnaden mellan hållbart flygbränsle jämfört med konventionellt flygbränsle ett hinder. EU-förordningen ReFuelEU Aviation som succesivt ökar andelen hållbart flygbränsle som behöver användas vid unionsflygplatser, utgör en faktor som kommer att öka efterfrågan på längre sikt. EU-förordningens krav träffar dock inte mindre flygplatser, utan endast unionsflygplatser med en årlig passagerartrafik som överstiger 800 000 passagerare eller en årlig godstrafik över 100 000 ton. Frågan är därmed om efterfrågan på hållbart flygbränsle även kommer att öka vid mindre flygplatser. Svaren från flera regionala flygplatser visar även att det är dyrare att få hållbart flygbränsle levererat till flygplatser ute i landet, vilket kan minska incitamenten att använda hållbart flygbränsle vid regionala flygplatser.

Slutligen finns en övergripande faktor som hindrar att hållbart flygbränsle kan bidra till ett helt fossilfritt flyg, eftersom hållbart flygbränsle enligt dagens specifikation maximalt får användas med 50 procents inblandning (EASA, u.d.-b).

Elflyg

29 regionala flygplatser uppger att tekniken för att snabbadda eller att ladda med högre effekter inte är helt fastställd. En av flygplatserna uppger att flygplatsen har presenterats både fasta- och mobila laddlösningar med "laddbilar". Tre regionala flygplatser uppger att standarder är på gång för laddning med högre effekter. Swedavias tio flygplatser uppger att tekniken för snabbaddning är under utveckling. Enligt Swedavia finns det en laddningslösning, "Mega Charging System" (MCS), som förväntas få sin standard fastställd under 2025 och beräknas kunna leverera upp till 3,75 MW. Idag finns dock inte möjlighet att snabbadda elflygplan enligt MCS-standard. Enligt Swedavia finns däremot möjlighet att ladda elflygplan med CCS-standard med effekter över 300 kWh. En regional flygplats uppger att det inte finns helt batteridrivna flyg under utveckling med fler än nio säten, vilket innebär att en effekt på 1 MW (som eventuellt går att expandera med batterilager) räcker långt.

Bristande standarder för laddning av elflygplan och eventuella risker som detta medför är gemensamt för många flygplatser. 27 regionala flygplatser uppger att det är riskfyllt eller omöjligt att göra investeringar när standarder eller regelverk ännu inte är fastställda. Swedavias tio flygplatser svarar att CCS-teknik och MCS-teknik är två konkurrerande standarder för elflyg. MCS-tekniken utlovar laddning med högre effekter, samtidigt gör CCS-tekniken kontinuerliga framsteg för laddning till högre effekter. Detta komplicerar val av laddningsteknik för flygplatser. Den största risken enligt Swedavia är dock teknikutvecklingen när det gäller elflygplan och att elflygplanstillverkare försöker att efterlikna det tidsutrymme som ett flygplan idag har för en "turn around". Det vill säga tiden mellan att planet landar och sedan lyfter för nästa flygning. Enligt Swedavia kommer effektbehovet troligtvis att öka i takt med batteriernas energidensitet ökar och att det finns risk att flygplatser som är tidigt ute kan göra felsatsningar. Främst i fråga om maximal effekt som en laddningsstation kan erbjuda. Swedavias tio flygplatser uppger även att en osäkerhet kopplat till elflyg är den faktiska räckvidden för elflygplan.

När det gäller kostnadsbilden för att installera laddningsstationer/enheter för laddning av elflygplan, är det 24 regionala flygplatser som uppger att frågan har utretts inom projektet "Grön Flygplats" men att det har varit svårt att fastslå exakta kostnader, eftersom det råder brist på standarder och osäkerheter om vad de nya luftfartygen kommer att kräva och vilken typ av laddning som kommer användas. Det har visat sig att det finns både för- och nackdelar med fasta respektive mobila laddstationer. Swedavias tio flygplatser uppger även att det är svårt att uppskatta kostnader för laddningsstationer. Vidare uppger Swedavia att den initiala kostnaden nedräknad per flygplansrörelse kommer att bli hög och att medfinansiering kan behövas.

Det är tre regionala flygplatser som ger konkreta kostnadsuppskattningar för infrastrukturen till elflyg. Den ena flygplatsen uppger att snabbaddare för första generationens kommersiella elflygplan (350 kWh) kostar cirka 1–2 miljoner kronor och den första laddaren enligt MSC-standard förväntas kosta cirka 5 miljoner kronor. Den andra regionala flygplatsen uppskattar kostnaden till 3–8 miljoner kronor. Den

tredje flygplatsen uppskattar kostnaden till 15–20 miljoner kronor och det inkluderar investeringar i kringutrustning.

Svaren visar betydande osäkerheter och risker både gällande standarder för laddutrustning, kostnader och vem som ska stå för de kostnader som uppstår. I och med att tekniken för elflyg fortsatt är under utveckling och att standarder inte helt är fastslagna, behöver det troligen utredas och samordnas hur elflyg kan introduceras. Praktiska frågor behöver då också beaktas, exempelvis att laddmöjligheter måste finnas både på avrese- och destinationsflygplats och att tillräcklig maximal laddningseffekt finns tillgängliga för de elflyg som i framtiden kommer att trafikera landets flygplatser. Frågor om hur investeringar kan göras under betydande osäkerheter, eftersom tekniken för elflyg fortsatt är under utveckling, är också en faktor som behöver beaktas.

Vätgasflyg

Det är 37 flygplatser som uppger att introduktion av vätgasflyg och tillhörande infrastruktur kommer att innebära kostnader. Flygplatserna uppger samtidigt att det är svårt att bedöma hur stora kostnaderna blir, eftersom flera faktorer fortsatt är osäkra. 23 regionala flygplatser uppger att det finns osäkerheter om hur vätgasen ska transporteras till flygplatsen, vilka mängder som behövs, när vätgasflyget kommer och vem som ska stå för investeringar. 23 regionala flygplatser uppger att frågan om kostnader för infrastrukturen för vätgasflyg bör ställas till energibolag som hanterar vätgas. Swedavias tio flygplatser uppger att det kommer att finnas kostnader för lagring, i vissa fall även förvätskning och eventuell produktion av vätgas vid flygplatser. Swedavia uppger att hydrantsystem⁵⁴ kan bli aktuellt även för vätgas i framtiden och att detta i sådant fall medför betydande kostnader och investeringar. Enligt Swedavia kommer mindre flygplatser troligtvis sakna möjlighet att producera egen grön vätgas. Swedavia uppger att kostnader för produktion och infrastruktur behöver ytterligare utredning. Vidare uppger Swedavia att frågan om vem som ska äga och driva infrastrukturen för vätgas behöver klarläggas, eftersom flygplatser idag i regel inte äger eller hanterar drivmedelsförsörjningen själva. Enligt Swedavia kommer dock kostnaderna vara betydande, men olika aspekter behöver fortsatt utredas såsom affärsmodeller, vätgasens produktionskedja med mera. En regional flygplats uppger att kostnaderna beror på vilken vätgasteknik som används. För gasform är kostnaderna begränsade (några miljoner kronor för mobil tanklösning/kompressor). För kryogen vätgas, vilket är aktuellt för flygplan mellan 20–100 säten (turboprop), krävs logistik, hantering och lagring av vätgasen som är relativt kostsam. Flygplatsen uppger dock att det är för tidigt att kunna nämna några konkreta summor och för större flygplan där man använder vätgas i en jetmotor, är vätgasvolymerna omfattande och kommer att kräva mycket stora lagrings- och tankningsinvesteringar tillsammans med säkerhetsprocedurer. Detta ligger dock bortom 2040 enligt flygplatsen.

Flygplatserna har även besvarat en fråga om vad som krävs för att flygplatserna ska kunna erbjuda infrastruktur för vätgasflyg. 34 flygplatser uppger att det som skulle behövas är en sammanhållen nationell plan/implementering för vätgasflyg. Av dessa

⁵⁴ Hydrantsystem är ett underjordiskt tanksystem som kan leverera flytande vätgas, i likhet med dagens system för flygbränsle.

flygplatser är 24 regionala flygplatser och dessa flygplatser uppger att staten bör stå för investeringskostnaderna. Swedavias tio flygplatser uppger att en nationell plan för grön vätgas behöver utreda utmaningar kring finansiering. Fem regionala flygplatser uppger att efterfrågan på vätgasflyg måste finnas för att vätgasflyg ska bli aktuellt. En regional flygplats nämner också eventuella möjligheter att producera grön vätgas vid flygplatsen genom solcellsparker. En annan regional flygplats har ett vätgasdemonstrationsprojekt på gång med ett niosittsigt vätgasflygplan, som ska genomföra en regional testflygning. Flygplatsen uppger att alla delar av processen måste kartläggas, vilket omfattar produktion av grön vätgas, distribution till flygplatsen, hantering vid flygplatsen, tankning i flygplanet, samt flygning. Därutöver behöva även kartläggning av brand och- säkerhetsprocedurer, vätgasbehov, kostnader, service- och kompetensbehov enligt flygplatsen.

Svaren visar att det finns betydande osäkerheter. En central osäkerhetsfaktor är att vätgastekniken fortsatt är omogen och under utveckling, vilket innebär att kostnader är svåra att bedöma. I och med att kommersiell trafik med vätgasflyg fortsatt ligger långt in i framtiden, bör vätgasflygets roll, potential och finansiering utredas vidare. Den sammanhållna nationella plan/implementering som en majoritet av flygplatserna föreslår, skulle då potentiellt kunna vara ett alternativ. Inom ramen för en sådan plan kan många av de osäkerheter och frågor som flygplatserna nämnt identifieras, utredas och besvaras.

Effektbehov

Det har även ställts frågor om effekt och vilka kostnader som blir en konsekvens av att flygplatser behöver tillhandahålla tillräcklig effekt för den nya infrastrukturen som krävs för fossilfritt flyg. 26 regionala flygplatser uppger att det inte finns några färdiga standarder för elflyg och kunskap om när elflyget kommer i kommersiell drift, vilket gör att flygplatserna inte vet vilken effekt som kommer att behövas och därmed inte vilken kostnaden blir. 23 regionala flygplatser uppger att samma läge gäller för vätgasflyg. Tio Swedavia flygplatser uppger att marknaden ännu inte är mogen för el- och vätgasflyg och att scenarion för att uppskatta framtida energibehov används, men att dessa scenarion ger vägledning, men inte kan ligga till grund för investeringsbeslut. 22 regionala flygplatser uppger att flygplatserna själva ställer sig frågan om effektbehov och vad kostnaderna blir och att Energimyndigheten borde utreda denna fråga. 21 regionala flygplatser uppger att effektbehovet och kostnader för utökad effekt och vilken effekt som kan levereras är något som har undersökts inom ramen för samarbetsprojektet ”Grön Flygplats”. Enligt flygplatserna har det visat sig att det är enklare att föra dialog med lokala elbolag än om dialog förts med en nationell elleverantör. Svarstiden har ibland blivit väldigt lång eller har så flygplatserna inte fått något svar alls. De svar som vissa regionala flygplatser ändå har fått visar att kostnaden för framdragning av utökad effekt, varierar kraftigt mellan olika flygplatser.

Tolv flygplatser (tio Swedavia och två regionala flygplatser) uppger att staten eller EU bör stå för kostnaden för framdragning av utökad effekt. Dessa flygplatser anser att staten bör stå för kostnad, risk och att investeringarna inte bara kan finansieras av de kunder som nyttjar infrastrukturen. Swedavias tio flygplatser uppger även det är svårt att uppskatta kostnader för att förstärka det interna elnätet, eftersom effektbehovet varierar och att det finns många olika sätt att hantera variationer. Tio

Swedavia flygplatser uppger att förutsättningarna när det gäller effekt är unika vid varje flygplats. De är beroende av både interna förutsättningar (nätkapacitet, tillgängliga ytor) och externa (närhet till grön vätgasproduktion, elnätskapacitet, tillgång till fossilfri el/ förnybar el et cetera). Fem regionala flygplatser uppger att det är osäkert vem som ska stå för investeringarna.

Tre regionala flygplatser uppger konkreta kostnadsuppskattningar. En av flygplatserna uppger att kostnaden är 7 miljoner kronor för att öka effekten från 0,5 MW till 3 MW. En annan flygplats uppger att kostnaden är mellan 3–7 miljoner kronor och den tredje flygplatsen uppger att 1,8 MW anslutning skulle kosta 864 000 kronor. Två regionala flygplatser har redan investerat i utökad effekt. Den ena flygplatsen svarar att 1 MW kostade 2,5 miljoner kronor. Enligt den andra flygplatsen kostade det 1,5 miljoner kronor att utöka effekten från 1 MW till 3,5 MW. Flygplatsen uppger även den utökade effekten är den maximala effekten från befintligt nät och att högre effekt kommer kosta betydligt mer. En regional flygplats lyfter även fördelar med att bygga lokal energiproduktion i anslutning till flygplatsen med solceller och batterilager, för att kunna minska effektbehovet. Det kräver dock att elnätsbolag är villiga att samarbeta och ta emot överskottsel enligt flygplatsen.

Svaren visar att det finns en rad osäkerheter om vilken effekt som flygplatserna kommer att behöva till framtidens infrastruktur för fossilfritt flyg. Den främsta osäkerheten är att tekniken och tillhörande standarder för el- och vätgasflyg är under utveckling, vilket innebär att effektbehovet inte kan fastställas. Samtidigt har flera flygplatser haft svårt att få besked om kostnader för ökad effekt från sina elleverantörer. Flera flygplatser anser att Energimyndigheten skulle kunna utreda frågan om effektbehov och kostnader. Svaren visar också att flygplatsers förutsättningar är unika, vilket innebär att möjligheten till ökad effekt kommer att skilja sig åt mellan landets flygplatser. Slutligen redovisar ett par flygplatser kostnadsuppskattningar och verkliga kostnader för att öka effekten. Dessa siffror kan ge en indikation om hur kostnader ser ut eller kommer att se ut i framtiden. Det är dock som tidigare nämnts betydande osäkerheter om de framtida behoven eftersom tekniken inom el- och vätgasflyg fortsatt är under utveckling, vilket innebär att framtida behov och kostnader inte kan fastställas.