

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Energiomställning för en mer hållbar flygindustri	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Sustainable energy transformations for aviation (SETA)	
Universitet/högskola/företag KTH & LiU	Avdelning/institution KTH, Industriell Ekonomi och Organisation INDEK
Adress Lindstedtsvägen 30, 10044 Stockholm	
Namn på projektledare Frauke Urban	
Namn på ev övriga projektdeltagare Anna Björklund, Johan Nordensvärd, Emrah Karakaya, Aneta Kulanovic, Emily Christley, Celeste Yat Yin Lai	
Nyckelord: 5-7 st Fossil-fritt flygg; hållbar energi; biobränsle; vätgas; el; socioteknisk omställning; policy	

## Förord

Detta projekt finansierades av Energimyndigheten. Projektet var ett samarbete mellan Kungliga Tekniska högskolan (KTH) och Linköpings universitet i Sverige. Forskningsprojektet ingick i Energimyndighetens Forskarskola Energisystem (FoES) och hade ett tvärvetenskapligt forskningssätt med rötter i industriell ekonomi och organisation, statsvetenskap samt livscykelanalys (LCA). Projektets deltagare vill uttrycka sin tacksamhet till alla som medverkade i studien, inklusive experterna från flygindustrin.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	2
Summary .....	2
Inledning/Bakgrund .....	3
Genomförande .....	4
Resultat .....	5
Diskussion.....	10
Publikationslista.....	10
Referenser, källor.....	16
Bilagor .....	16

## Sammanfattning

Projektet analyserade de sociotekniska, policy-relaterade och miljömässiga möjligheter och hinder för att minska växthusgasutsläppen inom flygsektorn, med fokus på hållbara flygbränslen (SAF) såsom avancerade biobränslen och elektrobränslen, elflyg samt grön vätgas. Projektet hade ett tvärvetenskapligt angreppssätt med rötter i industriell ekonomi och organisation, statsvetenskap och livscykelanalys (LCA). Tre doktorander från KTH och LiU disputerade i september, oktober och december 2025 inom Energimyndighetens forskarskola Energisystem (FoES). Metoderna som användes inkluderade expertintervjuer, fokusgruppsdiskussioner, policyanalys, dataanalys och LCA.

SETA-projektet identifierade möjligheter att minska flygets utsläpp genom uppskalning av SAF, elflyg och grön vätgas, men implementeringen hämmas av tekniska, infrastrukturella, ekonomiska, sociala, politiska och miljömässiga barriärer.

Studien visar att SAF redan används som ett drop-in-bränsle på många svenska och internationella flygplatser, med ökande investeringar och off-take-avtal. Stark europeisk politik såsom ReFuelEU Aviation, Fit for 55 och EU:s utsläppshandelssystem (ETS), tillsammans med det internationella kompenationssystemet CORSIA, skapar långsiktiga ramverk för att skala upp SAF, även om produktionen fortfarande är begränsad och kostnaderna höga. Att övervinna dessa hinder kräver riktade investeringar, riskdelning och stödjande policies.

Små elektriska tvåsitsiga flygplan används redan i Sverige, och hybridelektriska flygplan för regionala rutter kan komma i kommersiell drift om några år, efter certifiering av nya flygplantyper, förbättringar i batteriteknik och utbyggd laddinfrastruktur. Elflyg kan stärka den regionala tillgängligheten, inklusive till ö-destinationer.

Vätgasbaserat flyg möter förseningar och stora utmaningar inom flygplansdesign, storskalig vätgasproduktion, transport och lagring, och kräver stora mängder förnybar elektricitet. Även om SAF, eldrift och grön vätgas kan minska växthusgasutsläppen, kan andra miljöpåverknings uppstå, såsom uttömning av mineraler.

I Sverige har sociala rörelser som ”flygskam” och ”staying on the ground” fått ökat genomslag, vilket bidragit till minskat flygande och ökad tågtrafik, och flyget har blivit politiskt polariserat.

Att övervinna dessa utmaningar kräver stabila långsiktiga policyramverk och förutsägbara finansiella instrument för att stödja omställningen från fossila bränslen till renare bränslen och tekniker. Sammanfattningsvis är hållbarhetsomställningen inom svenskt flyg på väg, men mer politiskt, ekonomiskt och socialt stöd behövs för att skala upp den bortom tekniska lösningar.

## Summary

The project analysed the socio-technical, policy-related and environmental opportunities and barriers for reducing greenhouse gas emissions in the aviation sector, with a focus on sustainable aviation fuels (SAF) including both advanced biofuels and electro-fuels, electric aviation and green hydrogen. The project had an interdisciplinary approach with roots in industrial economics and management, political science and life cycle assessment (LCA). 3 PhD students successfully passed their PhDs in September, October and December 2025 as part of the Energy Agency's Forskarskola Energisystem (FoES). The methods used for this research included expert interviews, focus group discussions, policy analysis, data analysis and LCA.

The SETA project identified opportunities to mitigate aviation emissions through up-scaling SAF, electric propulsion and green hydrogen, but implementation is hindered by technological, infrastructural, economic, social, political and environmental barriers.

The study shows that SAF is already used as a drop-in fuel at many Swedish and international airports, with growing investments and off-take agreements. Strong European policies such as ReFuelEU Aviation, Fit for 55 and the EU Emission Trading Scheme (ETS), together with the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), provide long-term frameworks for scaling SAF, although production remains limited and costs high. Overcoming these barriers requires targeted investment, risk-sharing and supportive policy instruments.

Small electric 2-seater aircraft already operate in Sweden, and hybrid-electric aircraft for regional routes may operate commercially in a few years, after certification of new aircrafts, improvements in battery technology and expansion of charging infrastructure. Electric aviation could strengthen regional connectivity, including to islands.

Hydrogen-based aviation faces delays and major challenges in aircraft design, large-scale hydrogen production, transport and storage, and requires large amounts of renewable electricity. While SAF, electric propulsion and green hydrogen can reduce greenhouse gas emissions, burden-shifting to other environmental impacts may occur, such as mineral depletion.

In Sweden, social movements like "flight shame" have gained traction, contributing to reduced air travel and increased train use, and aviation has become politically polarised.

Overcoming these challenges requires stable long-term policy frameworks and predictable financial instruments to support the transition from fossil fuels to cleaner fuels and technologies. In conclusion, sustainability transitions in Swedish aviation are emerging, but more political, economic and social support is needed to scale them beyond technical solutions.

## Inledning/Bakgrund

Projektet "Sustainable Energy Transformations in Aviation (SETA)" syftar till att bidra till en förbättrad förståelse av dynamiken i hållbara energiomställningar inom flyget, med fokus på SAF (biobaserade flygbränslen, elektrobränslen), elektriska flygplan och grön vätgas. Projektet undersökte de sociotekniska möjligheterna och hindren kopplade till dessa omställningar.

Detta projekt analyserade dessa hållbarhetsomställningar samt deras sociotekniska, miljömässiga, ekonomiska och policyrelaterade konsekvenser i Sverige under en femårsperiod, från september 2020 till oktober 2025. Projektet leddes av Institutionen för industriell ekonomi och organisation (INDEK) vid Kungliga Tekniska högskolan (KTH), i samarbete med Statsvetenskapliga institutionen vid Linköpings universitet (LiU), Institutionen för energisystem vid LiU, samt Institutionen för hållbar utveckling, miljövetenskap och teknik (SEED) vid KTH.

3 doktorander försvarade framgångsrikt sina doktorsavhandlingar mellan september och december 2025, och totalt publicerades 3 avhandlingar, 12 vetenskapliga artiklar, 2 policyrapporter, 1 bokkapitel och 11 exjobb uppsatser. Ytterligare 2 artiklar är för närvarande under granskning i vetenskapliga tidskrifter, varav en har accepterats med mindre revideringar.

### Motivering till projektet

Transportsektorn står för cirka 30% av den globala energianvändningen och omkring 25% av de energi-relaterade CO<sub>2</sub>-utsläppen (IEA, 2025). Både energianvändning och CO<sub>2</sub>-utsläpp från transport förväntas öka ytterligare i framtiden, vilket utgör en betydande klimatutmaning. Transportsektorn har därför en central roll i arbetet med att minska växthusgasutsläppen (GHG). Flyget är särskilt viktigt eftersom det kopplar samman människor, varor och tjänster globalt och står för cirka 5% av de globala växthusgasutsläppen (Grewe et al, 2021; Lee et al, 2021).

Det är därför angeläget att analysera hur en övergång till mer hållbara transportsätt kan möjliggöras samt hur alternativa flygbränslen och teknologier kan utvecklas (Lai et al, 2022). De mest lovande alternativen till konventionella fossila flygbränslen är hållbara flygbränslen (SAF), som inkluderar avancerade biobränslen och elektrobränslen som redan används idag som så kallade drop-in-bränslen (Wang et al, 2019), samt eldrift (Schäfer et al, 2019) och vätgas (Baroutaji et al, 2019; Hoelzen et al, 2022).

Vidare är det viktigt att analysera de sociotekniska konsekvenserna av storskaliga systemomvandlingar (Lai et al, 2022), liksom policy-relaterade och politiska aspekter (Kulanovic & Nordensvärd, 2021; Kulanovic et al, 2025) samt sociologiska och beteenderelaterade faktorer (Christley et al, 2024). Omställningen

till fossilfritt flyg kräver också en analys av miljöpåverkan från alternativa bränslen och teknologier (Lai & Karakaya, 2024).

Den svenska regeringen har satt ambitiösa mål om att bli klimatneutrala till 2045, inklusive mål för en fossilfri transportsektor. Flyget har en nyckelroll i detta. Visionen är att alla inrikesflyg ska vara fossilfria senast 2030 och att alla flygningar som avgår från Sverige ska vara fossilfria senast 2045. Sverige är redan en global ledare inom hållbara energiomställningar inom flyget, med stora svenska flygbolag som erbjuder sina kunder möjligheten att köpa biobaserat hållbart flygbränsle samt betydande initiativ för elektriska flygplan.

## Genomförande

**Medverkande i projektet** var tre doktorander: Aneta Kulanovic (LiU), Emily Christley (KTH), Celeste Yat Yin Lai (KTH) och fem handledare: Frauke Urban (KTH), Anna Björklund (KTH), Johan Nordensvärd (LiU och KTH), Emrah Karakaya (KTH) och Patrik Thollander (LiU).

Projektet leds av Frauke Urban vid KTH. Handledare för Emily Christley var Frauke Urban och Emrah Karakaya, handledare för Celeste Yat Yin Lai var Anna Björklund och Emrah Karakaya, och handledare för Aneta Kulanovic var Johan Nordensvärd, Patrik Thollander och Frauke Urban.

För att uppnå projektets syfte hade projektet tre doktorander vid KTH och Linköpings universitet som forskade kring följande **forskningsfrågor** med fokus på SAF, elflyg och grön vätgas:

- Ur ett livscykelperspektiv, vilka ekologiska risker och möjligheter är kopplade till energiomställningen inom den svenska flygsektorn, och vilka strategier kan vara nödvändiga för att nå Sveriges energi- och klimatmål?
- Vilka är de socioekonomiska och sociotekniska effekterna av en hållbar energiomställning inom den svenska flygsektorn?
- Vilka konsumentpreferenser finns och är relevanta för en hållbar energiomställning inom svenskt flyg, och varför?
- Vilka är de politiska och policyrelaterade effekterna av en hållbar energiomställning inom den svenska flygsektorn, och vilka policyverktyg behövs för att främja omställningen?

## Metod

### 1. Expertintervjuer och fokusgrupper

Studien byggde på kvalitativa metoder för insamling och analys av primärdata. Under perioden 2020–2025 genomfördes semistrukturerade intervjuer, fokusgruppsdiskussioner och deltagande observationer med experter inom den

svenska och internationella flygbranschen. Respondenterna valdes för sina centrala roller i det socio-tekniska regimet och inkluderade representanter från flygbolag, flygplatser, flygplansutvecklare, myndigheter, branschorganisationer, forskningsinstitutioner samt producenter av fossilfria bränslen såsom bioflygbränsle, vätgas och elektrobränslen.

Två workshops, i 2020 och 2021, samlade experter för att diskutera möjligheter, hinder och strategier för utsläppsminskningar inom flyget. Därtill genomfördes platsbesök, bland annat vid flygbolag, flygplansutvecklare och flygplatser. Flygplatserna valdes ut baserat på tillgången till hållbara flygbränslen, laddinfrastruktur för elflyg, elflygskolor samt deras planer för drönare och vätgasproduktion.

## 2. Policystudie och dokumentanalys med diskursanalys

Studien använde en tolkande ansats för policystudier och fokuserade på hur diskurser, narrativ och språkliga praktiker formar förståelsen av hållbart flyg. Centrala Svenska nationella, europeiska och internationella styrdokument analyserades, med tonvikt på lagstiftning och strategier relevanta för omställningen till hållbar luftfart. Diskursanalysen kartlade hur policytexter konstruerar sociala kategorier och deras politiska implikationer.

Analysen byggde på begreppen inramning (framing) och metaforer som verktyg för att tolka hur aktörer ger mening åt policyfrågor. Inramningar organiserar och strukturerar förståelsen av problem, ofta med strategiska syften, medan metaforer ses som delar av större diskursiva strukturer och analyseras utifrån hur de både formar och formas av politiska kontexter.

Genom metoder för ramfusion och metaforanalys enligt Nordensvärd och Ketola (2019) undersöktes hur diskurser konkurrerar, överlappar och påverkar policyutvecklingen. Detta synliggjorde hur språkliga val formar policybetydelser och hur diskursiva konflikter bidrar till stöd, motstånd eller låsningar i omställningen mot hållbart flyg.

## 3. Livscykelanalys (LCA)

LCA användes för att bedöma de miljömässiga konsekvenserna av hållbara flygbränslen så som biobränsle och elektrobränsle (SAF) samt vätgas genom hela livscykeln, från råvaruutvinning till användning och sluthantering. Analysen inkluderade växthusgasutsläpp, mark- och vattenanvändning, mineralbehov och energiflöden. För SAF omfattade detta bland annat biomassa eller infångning av koldioxid och vätgas, bränsleproduktion, distribution, förbränning i flygplan och hantering av restprodukter.

En prospektiv LCA kombinerades med ett socio-tekniskt systemperspektiv för fyra teknologiska utvecklingsvägar, utvalda utifrån råvarutillgång, teknisk mognad och

policybegränsningar. Framtida bakgrundssystem modellerades med data från Ecoinvent och scenarier från integrerade bedömningsmodeller, medan uppskalning av teknologier beräknades med processimuleringar och proxydata enligt etablerade metodramverk. Osäkerheter hanterades med känslighetsanalyser.

Resultaten gav en helhetsbild av miljöprestandan för olika SAF-alternativ och vätgas, vilket stödjer utformning av styrmedel, investeringsstrategier och hållbara omställningsvägar för flygsektorn.

## Resultat

### Resultat

Projektet analyserade de socio-ekonomiska, socio-tekniska, policyrelaterade och miljömässiga möjligheterna och hindren för att minska växthusgasutsläpp inom flygsektorn, med fokus på hållbara flygbränslen (SAF) inklusive både avancerade bioflygbränslen och elektrobränslen, elektriskt flyg och grön vätgas. Projektet hade en tvärvetenskaplig ansats med rötter inom industriell ekonomi och management, statsvetenskap och livscykelanalys (LCA). Tre doktorander försvarade framgångsrikt sina avhandlingar i september, oktober och december 2025 som en del av Energimyndighetens doktorandprogram inom Energisystem / Forskarskola Energisystem (FoES).

SETA-projektet identifierade möjligheter att minska flygsektorns utsläpp genom uppskalning av SAF, elektrisk framdrivning och grön vätgas, men implementering hindras av tekniska, infrastrukturella, ekonomiska, sociala, politiska och miljömässiga barriärer.

Studien visade att SAF redan används i stor utsträckning som drop-in-bränsle på svenska och internationella flygplatser, medan investeringar i SAF-produktion och avtal om bränsleinköp ökar. I Europa finns flera viktiga policydrivare som ReFuelEU Aviation, Fit for 55 och EU:s nettonollmål. Obligatoriska inblandningskrav, koldioxidprissättning genom EU ETS och det internationella koldioxidkompensationssystemet CORSIA ger viktiga långsiktiga ramar för att expandera SAF-marknader och stödja hållbara omställningar inom flyget (Urban et al, 2024).

Trots detta är SAF-produktionen fortfarande begränsad, kostnaderna är höga och efterfrågan låg. För att övervinna dessa hinder krävs riktade investeringar, riskdelning, stödjande policyer, finansiella instrument och ökad kundmedvetenhet.

När det gäller elektriskt flyg används små elflyg redan i Sverige, bland annat för pilotutbildning, och hybrid-elektriska modeller för upp till 30 passagerare med räckvidder på upp till 800 km kan komma ut på marknaden de närmaste åren. Förbättringar av batterier och laddinfrastruktur vid flygplatser är avgörande. Även

om räckvidderna kommer att vara kortdistans kan elektriskt flyg stödja regional utveckling, inklusive för ödestinationer (Christley, 2025b).

Vätgasbaserad luftfart har upplevt både hype och besvikelser. De senaste planerna på vätgasbaserade flyg av flygplansutvecklare har försenats, och stora utmaningar kvarstår inom flygplansdesign, storskalig vätgasproduktion, transport, lagring, kostnader och efterfrågan. Grön vätgas och elektrobränslen kräver också betydande mängder förnybar el (eller el från kärnkraft) vid en tidpunkt då elnät och elproduktion redan är ansträngda (Urban et al, 2024).

Vår forskning visar att ersättning av fossilt flygbränsle med SAF, elektrisk framdrivning och grön vätgas kan minska växthusgasutsläppen avsevärt, även om det kan leda till belastningsflyttningar till andra miljöpåverkande faktorer (t.ex. mineralutarmning) (Lai, 2025).

Sociala rörelser som "flygskam" och "stanna på marken" har växt i Sverige (Christley, 2025a) och uppmuntrar till minskat flygresande och ökad tåganvändning. Flyget är politiskt polariserat, ofta framställt som tåg kontra flyg (Kulanovic, 2025).

För att övervinna dessa utmaningar krävs stabila långsiktiga policyramar och förutsägbara finansiella instrument för att stödja övergången från fossila bränslen till renare bränslen och teknologier. Sammanfattningsvis visar hållbarhetsomställningar inom svensk luftfart tecken på framväxt, men mer politiskt, ekonomiskt och socialt stöd behövs för att skala upp omställningen bortom tekniska lösningar.

Du kan läsa mer detaljer i avhandlingarna:

- Christley, E., 2025. *Transitions in-the-making: Towards a performative understanding of sustainability in Swedish aviation*. PhD thesis. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1998115&dswid=5700>
- Kulanovic, A., 2025. *The Politics of Green Aviation: The role of Politicization and Polarization of Sustainability Transitions in Aviation*. <https://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A2012307&dswid=7821>
- Lai, Y.Y., 2025. *Navigating within the planetary limits: A prospective life cycle environmental sustainability assessment in support of the energy transition in Swedish aviation*. <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1987118&dswid=-2437>

Översikt över de 12 publicerade tidskriftsartiklarna, 2 policybriefs och 1 bokkapitel finns på projektwebbplatserna: <https://liu.se/en/research/graduate-school-in-energy-systems/energiomstallning-for-en-mer-hallbar-flygindustri> och <https://www.kth.se/indek/side/completed-projects/seta-sustainable-energy->

[transformations-in-aviation-1.1017817](#). Några publikationer är fortfarande under granskning och kommer att läggas till på projektsidorna så snart som möjligt.

Kortare sammanfattningar finns i våra policybriefs:  
<https://liu.se/dfsmedia/dd35e243dfb7406993c1815aaf88a675/115508-source/policy-brief-sustainable-aviation-fuels-2025-09-25>,  
<https://liu.se/dfsmedia/dd35e243dfb7406993c1815aaf88a675/115507-source/policy-brief-electric-aviation-2025-09-25>

Projektet hade också 11 studenter/studentgrupper som skrev sina examensarbeten inom SETA-projektet vid KTH:s institution för industriell ekonomi och organisation (INDEK), med handledning av Frauke Urban, Emily Christley och Emrah Karakaya. Följande examensarbeten publicerades i DiVA:

Modelling sustainable energy transitions in aviation:

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1592706&dswid=4888>

SAF:

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1898519&dswid=6013>

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1872676&dswid=-5875>

Electric aviation:

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1783712&dswid=5659>

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1562357&dswid=-5554>

Hydrogen and electrofuels:

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1562426&dswid=-6039>

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=-2686&pid=diva2%3A1770208>

Science-based targets for aviation:

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1784594&dswid=-5717>

The role of airports for sustainable energy transitions in aviation:

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1871397&dswid=2282>

Behavioral attitudes towards sustainable energy transitions in aviation:

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1802368&dswid=8157>

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1836262&dswid=2266>

## Diskussion

Att lösa de komplexa övergångarna till fossilfritt flyg kräver ett integrerat, tvärvetenskapligt systemperspektiv på grund av de sammanlänkade teknologiska, miljömässiga, ekonomiska och sociala faktorerna. Livscykelanalys (LCA) säkerställer att utsläppsreduktioner samt andra miljöeffekter utvärderas över hela livscykeln, och ger viss evidens om hur man kan minska belastningsförflyttning mellan olika miljöpåverkan. Politik spelar en avgörande roll för att sätta regulatoriska ramverk och incitament som styr innovation och industriellt beteende. Ekonomisk analys hjälper till att bedöma möjligheter för nya innovativa affärsmodeller, utvärdera kostnadseffektivitet och förstå marknadsdynamik, medan socio-tekniska övergångsteorier belyser hur inrotade teknologier, industrier, praxis, infrastrukturer och kulturella normer kan bidra till eller hindra hållbara övergångar inom luftfarten. Endast genom att syntetisera insikter från ett systemperspektiv över dessa olika aspekter kan robusta och realistiska vägar designas mot mer hållbara och fossil-fritt flyg.

Detta projekt bidrar därmed både konceptuellt och metodologiskt genom a) att analysera hållbara energiomställningar från ett systemperspektiv som brygger perspektiv från industriell ekonomi, statsvetenskap och hållbarhetsbedömning, b) genom att utveckla metodologiska tillvägagångssätt för att integrera blandade metoder, inklusive expertintervjuer, fokusgrupper, policyanalys och livscykelanalys för att analysera möjligheter, utmaningar och effekter av hållbara energiomställningar för luftfarten. Till exempel, genom att integrera socio-tekniska övergångar i LCA-metodologin, har en ny metod utvecklats som lett till en bättre förståelse av det socio-tekniska systemet och miljöpåverkan från olika flygbränslen. På samma sätt har djupare analyser av aspekter relaterade till politik, policy, styrning och governance inom socio-tekniska övergångsstudier möjliggjort en förbättrad förståelse för dynamiken i hållbara energiomställningar inom luftfarten, och visat på varför omställningen går långsammare, mindre linjärt och med fler motgångar och förseningar än vad många luftfarts-experters initialt förväntade. Sverige var det geografiska fokusområdet för denna forskning, men många av insikterna är också giltiga för andra länder, eftersom luftfarten är en internationell, globalt sammankopplad sektor.

Vår forskning visade på följande specifika konsekvenser för hållbara energiomställningar inom luftfarten:

Hållbara flygbränslen (SAF) representerar ett avgörande steg för att minska beroendet av fossila bränslen och reducera CO<sub>2</sub>-utsläppen från flyget och de används redan idag som drop-in bränslen som kan ersätta fossilt jetbränsle. Som en övergångslösning tills elektriska flygplan och flyg med grön vätgas blir kommersiellt gångbara, kan SAF avsevärt minska växthusgasutsläpp och bidra till cirkulär ekonomi genom att använda avfall som bränslen. Genom att anta SAF kan flygbolag, flygplatser, bränsleproducenter och kunder bidra till att minska klimatpåverkan från luftfarten. Men vissa typer av SAF, såsom elektrobränslen, kan ge upphov till andra miljöeffekter, såsom mineralnedbrytning och markanvändningsförändringar. Därmed kan belastningsförflyttning observeras från en miljöpåverkan till en annan.

Elektrisk luftfart som en nischinnovation utgör en betydande möjlighet att minska klimatpåverkan från flygresor samtidigt som regionala förbindelser och ekonomisk utveckling främjas. Det finns också potential för lägre driftkostnader. För närvarande finns dock elektriska flygplan endast för mycket små plan, såsom elektriska tvåsitsiga flygplan. Att designa, bygga, testa och certifiera nya flygplan tar längre tid än förväntat och teknologiska flaskhalsar som batteriteknologi innebär utmaningar. Att hantera infrastrukturyheter, tekniska utmaningar och konsumentacceptans är avgörande för framgångsrik implementering och uppskalning av elektrisk luftfart.

Vätgasbaserade flygplan är nischinnovationer som genomgår forskning och utveckling, men de kommer troligtvis inte att bli kommersiellt tillgängliga förrän om ett decennium eller senare. Sammanfattningsvis kvarstår stora utmaningar för nya icke-fossila bränslen och teknologier för luftfart, såsom höga kostnader, begränsad bränsleförsörjning, brist på infrastruktur (t.ex. laddinfrastruktur för elflygplan, infrastruktur för vätgasproduktion, lagring och transport), brist på långsiktiga storskaliga investeringar samt behovet att designa, bygga, testa och certifiera nya elektriska och vätgasbaserade flygplan.

Därför är den totala processen långsammare än vad som förutspåddes för några år sedan. Ur ett systemperspektiv finns det ett behov av långsiktiga stabila politiska miljöer och förutsägbara finansiella instrument för att förändra det nuvarande socio-tekniska regimet som dominerar fossilbaserad luftfart. Denna långsiktiga stabilitet tillhandahålls för närvarande inte tillräcklig av nationella regeringar. Stödjande och förutsägbara, långsiktiga politiska och finansiella mekanismer tillhandahålls istället huvudsakligen på regional och internationell nivå, såsom EU och ICAO. Att analysera och förstå dessa storskaliga, internationella övergångar kräver i slutändan ett tvärvetenskapligt systemperspektiv.

### **Implikationer för energisystemet**

Övergången till fossilfritt flyg har betydande konsekvenser för det bredare energisystemet. En storskalig introduktion av SAF, grön vätgas och elektriska flygplan innebär att framtidens energisystem måste leverera stora mängder förnybar el (eller kärnkraft), robust infrastruktur för produktion och distribution av nya bränslen samt flexibla lösningar för lagring och nätkapacitet. Detta ställer ökade krav på långsiktig planering, sektorsintegration och samordning mellan elsystem, transportsektor och industri. Dessutom kan produktion av elektrobränslen och vätgas konkurrera med andra sektorer om samma resurser, såsom stålindustrin, vägtransport och sjöfart. Även hållbar biomassa kan konkurrera med dessa sektorer om samma begränsade resurser. Detta understryker behovet av strategiska prioriteringar för att säkerställa att luftfartens omställning inte skapar nya flaskhalsar eller ineffektiviteter i energi- och transportsystemen. En välkoordinerad omställning kan däremot bidra till ökad flexibilitet, innovation och investeringar i förnybar energi och därmed stärka Sveriges långsiktiga energiförsörjning och klimatomställning

### **Implikationer för samhället och svensk konkurrenskraft**

Ur ett samhällsperspektiv innebär omställningen till fossilfritt flyg stora möjligheter men också betydande utmaningar. Genom att utveckla och implementera hållbara flygbränslen, vätgasbaserade lösningar och elektriska flygplan kan Sverige stärka sin innovationskraft och globala konkurrenskraft inom avancerad energi- och flygteknologi. Investeringar i forskning, testbäddar, industriell produktion och regional infrastruktur kan skapa nya jobb, stärka kompetensförsörjningen och bidra till ekonomisk tillväxt, särskilt i regioner där flyget är centralt för tillgänglighet och näringslivets utveckling. Samtidigt kräver omställningen ett brett samhälleligt stöd och legitimitet, inklusive acceptans från konsumenter, industriaktörer och politiska beslutsfattare. Genom att Sverige positionerar sig som ett ledande land inom hållbar luftfart kan nationen inte bara minska sina egna utsläpp, utan också bidra med export av teknik, kunskap och policyutveckling till den internationella omställningen av flygsektorn.

## **Publikationslista**

### **3 PhD thesis:**

Christley, E., 2025. Transitions in-the-making: Towards a performative understanding of sustainability in Swedish aviation. PhD thesis. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1998115&dswid=5700>

This thesis finds that sustainability transitions cannot be understood through fixed targets alone, as sustainability is continually negotiated through discursive and material practices. Using Swedish aviation, a sector marked by both climate ambition and high per-capita emissions, the research examines how competing

meanings of sustainability shape transition efforts. Across four papers, it analyzes policy trends, industry narratives, technological innovation, and conflicts between the aviation sector and the flight-free movement. The study identifies two competing discourse coalitions, Green flying and Staying on the ground, that advance divergent visions. It concludes that transitions require reflexive, pluralistic governance that embraces contestation and open-ended change.

Kulanovic, A., 2025. The Politics of Green Aviation: The role of Politicization and Polarization of Sustainability Transitions in Aviation. <https://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A2012307&dswid=7821>

This thesis examines how political discourses shape sustainability transitions in aviation, arguing that socio-political dynamics are as important as technological innovation. Using the Multi-Level Perspective and discourse analysis, it shows how frames and narratives influence acceptance, support, and opposition to sustainable niche innovations in Sweden. Focus groups and interviews reveal that politicization and polarization create discursive lock-ins that hinder policy leadership and block emerging solutions such as electric drones. While some narratives enhance legitimacy, others create resistance. The study concludes that understanding and addressing these discursive dynamics is crucial for overcoming barriers and designing effective policies for sustainability transitions in aviation.

Lai, Y.Y., 2025. Navigating within the planetary limits: A prospective life cycle environmental sustainability assessment in support of the energy transition in Swedish aviation. <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1987118&dswid=-2437>

The thesis evaluates whether future Swedish air travel powered by alternative fuels and new propulsion systems can be environmentally sustainable, such as sustainable aviation fuels (SAF) and hydrogen. Using a socio-technical lens and prospective life cycle methods, it finds that although these technologies can lower climate impacts compared with fossil kerosene, they often shift burdens to other environmental areas. Even with advanced options, Sweden's projected 2050 air travel could exceed climate and biodiversity limits. The study highlights uncertainties but identifies the need for systemic, cross-sector transitions, integrated targets based on planetary boundaries, coordinated governance, and demand-side measures to ensure aviation's sustainable role in society.

## **12 published journal papers:**

Christley, E., 2025. Performing legitimacy in electric aviation: The innovation journey of Heart Aerospace. *Energy Research & Social Science*, 127, 104261. doi: 10.1016/j.erss.2025.104261.

Christley, E., Lai, Y. Y., Björner Brauer, H. & Almqvist Ingersoll, A. 2025. A beginner's guide to reflexivity in energy research and social science. *Energy Research & Social Science*, 127, 104267.

Christley, E., Karakaya, E., Urban, F., 2024. Analysing transitions in-the-making: A case study of aviation in Sweden. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Vol. 50(2024): 100790.

Christley, E. & Ullström, S., 2024. Desired or contested futures? Competing discourse-coalitions for sustainable aviation in Sweden. *Critical Policy Studies*, 1-22.

Kulanovic, A., Raghunatha, A., Nordensvärd, J., Thollander, P., 2025. Analyzing Discursive Policy Leadership Using Regime Narratives in Sweden's Emerging Drone Transport for Sustainability Transition. *Sustainable Futures*, Volume 10, December 2025, 101387.

Kulanovic, A. & Nordensvärd, J., 2021. Exploring the political discursive lock-ins on sustainable aviation in Sweden. *Energies*, 14(21).

Lai, Y. Y. & Björklund, A., 2025. Prospective life cycle assessment of future Swedish hydrogen powered aviation pathways. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 146, 104887.

Lai, Y.Y. & Karakaya, E., 2024. Rethinking the sustainability of transitions: An illustrative case of burden-shifting and sociotechnical dynamics of aviation fuel in Sweden. *Energy Research & Social Science*, 113, p.103574.

Lai, Y. Y. & Laurent, A., 2025. Can hydrogen powered air travel grow within the planetary limits? *Sustainable Production and Consumption*, 59, pp. 143 160.

Lai, Y.Y., Christley, E., Kulanovic, A., Teng, C.C., Björklund, A., Nordensvärd, J., Karakaya, E., Urban, F., 2022. Analysing the opportunities and challenges for mitigating the climate impact of aviation: A narrative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 156(3): 111972.

Lai, Y.Y., Karakaya, E. & Björklund, A., 2022. Employing a socio-technical system approach in prospective life cycle assessment: A case of large-scale Swedish sustainable aviation fuels. *Frontiers in Sustainability*, 3.

Urban, F., Nurdiawati, A., Harahap, F., Morozovska, K., 2024. Decarbonizing maritime shipping and aviation: Disruption, regime resistance and breaking through carbon lock-in and path dependency in hard-to-abate transport sectors. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 52 (2024) 100854.

## **2 papers in the pipeline:**

Kulanovic, A., Nordensvärd, J., Urban, F., forthcoming. The discursive silos of transport discourse in Sweden: Using future storylines to understand the polarization and politicization of sustainable aviation transitions. *Futures*, accepted with minor revisions.

Urban, F., Kulanovic, A., Nordensvärd, J., forthcoming. Paper on policy mixes for sustainability transitions in aviation submitted to a peer-reviewed international journal.

### **Book chapter:**

Urban, F. and Nordensvärd, J., 2023. Handbook on Climate Change and Technology. Edward Elgar Publishing, London. Chapter on energy transitions in aviation, co-authored by Aneta Kulanovic, Frauke Urban, Johan Nordensvärd.

### **Policy briefs:**

Urban et al, 2025. Policy Brief - Sustainable Aviation Fuels:  
<https://liu.se/dfsmedia/dd35e243dfb7406993c1815aaf88a675/115508-source/policy-brief-sustainable-aviation-fuels-2025-09-25>

Urban et al, 2025. Policy Brief - Electric Aviation:  
<https://liu.se/dfsmedia/dd35e243dfb7406993c1815aaf88a675/115507-source/policy-brief-electric-aviation-2025-09-25>

### **11 examensarbeten:**

Askari, P. & Norström, M., 2021. The emergence of the dominant design in socio-technical transitions: A case study of electric aviation in Sweden. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1562357&dswid=-5554>

Bergene, J. & Bruchhausen, J., 2023. Leveraging green hydrogen to decarbonise the aviation industry: A case study on electrofuels in Sweden. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1770208>

Cromnier, M. & Södergren, E., 2023. Electric passenger aviation in Sweden: An analysis from the perspective of the Swedish aviation industry\*. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1783712&dswid=5659>

Dowds, E., 2023. Climbing to new heights: The importance of considering passengers on the flight towards more sustainable forms of aviation. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1802368>

Lindfors, S., 2023. Pathway for sustainable aviation: Analysis of science-based targets for aviation. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1784594>

Molander, A., 2024. Sustainable aviation fuels, the fuel of the future?: A scenario analysis of SAF using high resolution emission data\*. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1898519&dswid=6013>

Ramón Sánchez, M., 2024. Analysis of sustainability transitions in aviation: The role of airports in the decarbonization of aviation. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1871397>

Perelygin, S. & Samara, M., 2021. The Hydrogen Runway: Fostering niche technology: A case of Hydrogen in Swedish aviation. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1562426>

Sjöström, F., 2024. When flying is inevitable: How international companies and business travelers can contribute to the transformation towards a future of sustainable aviation. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1836262>

Uthman, D. & Danha, J., 2024. Towards sustainable aviation: Business models for sustainable aviation fuels. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

<https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1872676&dswid=-5875>

Zoccatelli, M. & Nascimbeni, E., 2021. Transformation of the aviation industry: Exploring alternative renewal fuel pathways. Master's thesis, School of Industrial Engineering and Management, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1592706&dswid=4888>

## Referenser, källor

Baroutaji A, Wilberforce T, Ramadan M, Olabi AG. Comprehensive investigation on hydrogen and fuel cell technology in the aviation and aerospace sectors.

Renew Sustain Energy Rev 2019;106:31–40.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.022>.

Christley, E., 2025a. Transitions in-the-making: Towards a performative understanding of sustainability in Swedish aviation. PhD thesis. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1998115&dswid=5700>

Christley, E., 2025b. Performing legitimacy in electric aviation: The innovation journey of Heart Aerospace. *Energy Research & Social Science*, 127, 104261. doi: 10.1016/j.erss.2025.104261.

Christley, E., Karakaya, E., Urban, F., 2024. Analysing transitions in-the-making: A case study of aviation in Sweden. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Vol. 50(2024): 100790.

Grewe V, Gangoli Rao A, Grönstedt T, Xisto C, Linke F, Melkert J, et al. Evaluating the climate impact of aviation emission scenarios towards the Paris agreement including COVID-19 effects. *Nat Commun* 2021;12:3841.

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-24091-y>.

Hoelzen, J., Silberhorn, D., Zill, T., Bensmann, B., Hanke-Rauschenbach, R., 2022. Hydrogen-powered aviation and its reliance on green hydrogen infrastructure – Review and research gaps. *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 47(5):3108-3130.

Kulanovic, A., 2025. The Politics of Green Aviation: The role of Politicization and Polarization of Sustainability Transitions in Aviation. <https://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A2012307&dswid=7821>

Kulanovic, A. & Nordensvärd, J., 2021. Exploring the political discursive lock-ins on sustainable aviation in Sweden. *Energies*, 14(21).

Lai, Y.Y., 2025. Navigating within the planetary limits: A prospective life cycle environmental sustainability assessment in support of the energy transition in Swedish aviation. <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1987118&dswid=-2437>

Lai, Y.Y., Christley, E., Kulanovic, A., Teng, C.C., Björklund, A., Nordensvärd, J., Karakaya, E., Urban, F., 2022a. Analysing the opportunities and challenges for mitigating the climate impact of aviation: A narrative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 156(3): 111972.

Schäfer AW, Barrett SRH, Doyme K, Dray LM, Gnadt AR, Self R, et al. Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy* 2019;4:160–6. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0294-x>.

Urban, F., Nurdiawati, A., Harahap, F., Morozovska, K., 2024. Decarbonizing maritime shipping and aviation: Disruption, regime resistance and breaking

through carbon lock-in and path dependency in hard-to-abate transport sectors. Environmental Innovation and Societal Transitions, Vol. 52 (2024) 100854.

## **Bilagor**

- Administrativ bilaga
- Vetenskapliga artiklar
- Avhandlingar