

# Strategiska forskningsområden för elflyg

Sammanställning av resultatet från workshop  
2022.03.21

Version 220413

## INNEHÅLL

<b>1.</b>	<b>Introduktion .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Sammanställning av strategiska forskningsområden för elflyg .....</b>	<b>3</b>
2.1	Teknik: system och hårdvara ombord .....	3
2.1.1	Energilager .....	4
2.1.2	Drivlina .....	4
2.2	Miljö och samhälle .....	6
2.2.1	Den samhällsekonomiska kalkylen .....	6
2.2.2	Klimat- och miljöaspekter och framtidens transportekosystem .....	7
2.2.3	Frågor av utredande karaktär .....	7
2.3	Elförsörjning och kopplingen mot elnätet .....	8
2.3.1	Krav på elnätskapacitet .....	8
2.3.2	Samordning mellan olika transportslag och andra sektorer .....	8
2.3.3	Frågor av utredande karaktär .....	9
2.4	Infrastruktur .....	9
2.4.1	Investeringar och affärsmodeller .....	9
2.4.2	Frågor av utredande karaktär .....	10
<b>3.</b>	<b>Summering .....</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>Appendix A: Övergripande frågeställning och diskussionsfrågor grupparbete .....</b>	<b>12</b>
4.1	Teknik: system och hårdvara ombord .....	12
4.2	Miljö och samhälle .....	12
4.3	Elförsörjning och kopplingen mot elnätet .....	12
4.4	Infrastruktur för elflyg .....	13
4.5	Övriga diskussionsfrågor .....	13
<b>5.</b>	<b>Appendix B: Deltagarlista .....</b>	<b>14</b>

# 1. Introduktion

En workshop om strategiska forskningsområden för elflyg anordnades av Swedish Electromobility Centre online tillsammans med Transportföretagen och Region Skåne den 21 mars 2022.

Bakgrunden till initiativet är en dialog i Elektrifieringskommissionens arbetsgrupp för elflyg angående behovet av forskning för att stödja elektrifieringen av flyget. Den forskning som redan idag bedrivs för elektrifiering av andra transportslag kan med stor säkerhet bidra även till elektrifieringen av flyget. Emellertid finns det ytterligare behov av strategisk forskning för att stödja utvecklingen av elflyg. Syftet med workshopen var därför att identifiera dessa strategiska forskningsområden för elflyg.

En bred definition av elflyg användes där utöver batteri och elektrisk drivlina även lösningar inkluderande vätgas och bränsleceller ingick. Elflyg utgör en viktig men begränsad delmängd av framtida lösningar för ökad mobilitet och minskad klimat- och miljöpåverkan från transportsystemet. Det är viktigt i detta sammanhang att poängtera att det finns andra flygrelaterade områden/tekniker som ur klimatperspektiv kan ha betydligt större potential de närmaste åren såsom Sustainable Aviation Fuel (SAF) och på sikt kan även förbränning av vätgas komma in som hållbar lösning för flyget.

Ambitionen i workshopen har varit att genom grupparbetet inventera behovet av forskning både ur såväl teknisk som samhällsligt perspektiv. Fyrtiosex deltagare delades in i totalt sex grupper. Två grupper behandlade systemet och hårdvara ombord farkosten. Två grupper analyserade behovet från miljö- och samhällsperspektiv. En grupp arbetade med elförsörjning och kopplingen mot elnätet. Den sjätte gruppen tog sig an markinfrastrukturen.

Grupperna arbetade med en målfråga och till stöd fanns ett antal diskussionsfrågor, se Appendix A. Varje grupp hade en gruppleddare och en protokollförare, se Appendix B deltagarlista. Den här rapporten är en summering av gruppernas resultat.

Under arbetet framkom även frågor av mer utredande karaktär som behöver besvaras för en framgångsrik implementering av elflyg. Dessa frågor presenteras separat under respektive område.

## 2. Sammanställning av strategiska forskningsområden för elflyg

### 2.1 Teknik: system och hårdvara ombord

Alla system ombord kommer att påverkas och måste beaktas, men framför allt systemen för framdrift behöver adresseras forskningsmässigt.

### 2.1.1 Energilagring

Den mest prioriterade frågeställningen gäller energitäthet. Hög energitäthet hos energilagret är ett krav, säkerhet och redundans måste garanteras. Batteriutvecklingen har under längre tid styrts av behoven från vägfordon, där inte minst hög volumetrisk energidensitet samt billigare metallinnehåll varit i fokus. Utvecklingen har därmed gått mot mer nickelrika katoder (NMC811, NCA) samt inblandning av kisel i grafitanoden, vilket genererat energiinnehåll på cellnivå som närmar sig 300 Wh/kg. Utvecklingen förväntas fortsätta med införandet av högvoltkatoder (LNMO), högre kiselinnehåll, samt annan utveckling på komponentnivå, och Li-jonbatteriet kan därmed nå uppemot 400 Wh/kg. Detta gäller även för andra fordonstillämpningar, som flyg.

Ett utvecklingssprång kan förväntas med införandet av fastfasbatterier i kombination med Li-metallelektroder som kommer att nå bredare marknadssegment efter 2025 och som på sikt kan komma att nå 500 Wh/kg. Fastfasbatterierna uppvisar också bättre säkerhetsegenskaper, vilket är relevant för flyg. För flyg är också gravimetrisk (specifik) energitäthet ofta en viktigare faktor än volumetrisk energitäthet, vilket gör att andra cellkemier ökar i relevans, t ex litium-svavel, organiska batterikoncept eller multivalenta system (Ca, Mg, Al). Dessa är dock idag behäftade med relativt kort livslängd och/eller säkerhetsproblem, och förväntas inte nå mer betydande marknadssegment förrän efter år 2030. Även fastfasbatterier har högt energiinnehåll per viktsenhet, men kan komma att kräva andra temperaturregleringssystem samt vara svårare att snabbbladda än Li-jonbatterier. Åldring av, och återvinningsstrategier för, fastfasbatterier behöver också förstås och utvecklas.

För bränslecellsflygplan består energilagret av en vätgastank som antingen är trycksatt, ”cryo-compressed”, eller är av rent kryogen typ. Även om trycksatt tankteknik sannolikt är enklare att hantera praktiskt, finns väldigt stora prestandavinster med att lagra vätgasen i kryogen form (åtminstone en faktor 5 i lagringstäthet). Trycksatta tankar är så pass tunga att de är i samma storleksordning när det gäller massan som själva bränslecellen. Extremt välisolerade tankar kan potentiellt användas initialt för att bara behöva installera vätgasinfrastuktur på ett fåtal flygplatser. Det blir inte riktigt lika energieffektivt men det möjliggör att fler flygplatser kan tas i bruk snabbt. Idén med detta är att tanken klarar att stå över natt utan att bränslet kokar av mer än att det är möjligt att återvända till ursprungsflygplats eller flyga till nästa destination.

Forskningsområden på energilagring för vätgasflygplan är tankteknik, värmehantering, lättviktskonstruktioner såsom kompositteknik, väteförspredning och konstruktion/optimering av helt bränslesystem.

### 2.1.2 Drivlina

De bästa elmotorerna som finns idag för vägfordon skulle kunna fungera för elflyget avseende effekt- och momenttäthet, men det finns fortfarande många förbättringsmöjligheter. Det ställs också andra krav inom flyget varför utveckling och anpassning är nödvändig. Nya motortopologier med ännu högre effekttäthet för att minska vikten och ökad tillförlitlighet är önskvärda. Forskning på energieffektiva drivlinor behövs eftersom det kopplas direkt till energilagringsbehov ombord. Elsäkerhet

kopplat till höga spänningar som i kombination med höga höjder kan leda till Corona discharge är också viktigt att utforska.

Kraftelektroniken utgör en inte försumbar del av både totala massan och kostnaden för drivlinan. Forskning på lättare och billigare komponenter som samtidigt leder till drivlinor med hög robusthet och verkningsgrad behövs. Precis som med energilagret kan kylning av drivlinan kan vara utmanande på grund av låg luftdensitet. Möjligheter för integrerad värmehantering för drivlinan och batterier / bränslecell är också intressanta utifrån ett forskningsperspektiv.

Med energitätheter på runt 500 Wh/kg på packnivå, som kan vara bli verklighet på sikt, blir räckvidder för batterielektrisk framdrift för regionalflyg uppskattningsvis 40 mil. Man måste här skilja på maxräckvidd och operativ räckvidd. EASA CS-23 kräver att man kan cirkla i luften 30 minuter vid ankomstflygplatsen, därefter kan man behöva gå till en alternativ flygplats och 10 m/s motvind är dessutom rimligt för ett designfall. Då behövs uppskattningsvis runt 500 Wh/kg för att nå 40 mils ekonomisk räckvidd. Samma flygplan som omedelbart får landningstillstånd, inte behöver gå till alternativflygplats och flyger i nollvind kan nå mer än 80 mil. Då straffet för dessa certifieringskrav är så stort är forskning kring hybrider som använder elektrobränslen intressant. Även om bränslet är väldigt dyrt, så används det bara i samband med flygning till alternativflygplats eller vid extrema hålltider vid flygplats. Då batteriflygplan flyga längre distanser utan att fossila utsläpp sker. Under en övergångsperiod kan fossilt flygfotogen användas. Det spelar ju ingen roll om fotogenen nästan aldrig används. Däremot innebär en hybrid drivlina extra underhåll (förbränningsmotorn och alla sina hjälpsystem måste besiktas och servas) som innebär ökade kostnader även om den nästan aldrig används.

Vätgas har potential att ge flygplanet avsevärt längre räckvidd, uppskattningsvis 2-3 gånger längre än batteriflygplan på kortare distanser. Där ett elflygplan konstruerat för 19 passagerare når 40 mil kan ett vätgasflygplan med liknande tekniknivå nå 80-120 mil. Större flygplan, runt 70 passagerare, bedöms inte vara möjliga att konstruera som rent elektriska flygplan åtminstone inte förrän efter 2030. Där kan batteri-vätgas hybrider med fördel användas. Batterierna är billigare och kan öka stigprestandan medan vätgasen ger längre räckvidd.

Forskningsområden på vätgasflygplan och drivlina kan inrikta sig mot teknologier för att öka energitätheten i bränslecellen, samt optimera konstruktionen för att öka livslängden. I huvudsak är PEM<sup>1</sup>-teknik aktuell, då det bedöms svårt för SOFC<sup>2</sup> att klara den stora variationen i effektbehov som är typiska för flygtillämpningar. PEM-tekniken är också avsevärt mer mogen och mer realistisk för en 2025-2030-horisont. En kolossalt viktig fråga är att kunna konstruera lätta system för att bli av med värmen. Verkningsgraden hos bränsleceller sjunker med pådrag och vid en varm dag med en sliten bränslecell kan avgiven värme bli väldigt stor. För ett 19 pax flygplan krävs att mer än 1 MW värme kan överföras till omgivningen under start och tidig stigning. Värmehantering, radiatorkonstruktion samt innovationer för att integrera bränslecellen i flygplanet bedöms vara lika väsentliga frågor som att arbeta direkt med bränslecellen.

---

<sup>1</sup> PEMFC: Proton-Exchange Membrane alt. Polymer Electrolyte Membrane fuel cells

<sup>2</sup> SOFC: Solid Oxide Fuel Cell

## 2.2 Miljö och samhälle

### 2.2.1 Den samhällsekonomiska kalkylen

Flyget har sen länge haft svårt att konkurrera på kortare distanser än 50 mil. Kanske har elflyget potential att trycka tillbaka distansen något och konkurrera även på kortare resor. Det är dock svårt att få ihop hela ekvationen då resor till och från flygplats lätt blir dominerande. Vid snabb frammarsch av elektrifiering av vägfordon blir det än svårare att konkurrera. Områden där GDP är någorlunda hög och endast dåliga väg- eller tågförbindelser finnes är idealiska. Norge, USA Indonesien är t.ex. intressanta marknader och kanske även svenska Norrland. Tillräckligt passagerarunderlag måste naturligtvis också finnas.

Frågan om hur elflygens introduktion och uppskalning ska gå till är starkt beroende av hur man kan visa på samhällsnytta och hur nödvändiga investeringar i fysisk- och i laddinfrastruktur kan finansieras. Ett forskningsområde är därför att identifiera de principer som är viktiga dvs, incitament, utveckling av affärsmodeller och behovet av offentligt stöd. Att identifiera nyttan med elflyg är central - det finns inget självändamål med elflyg - det skall fylla ett behov, alternativt möta ett befintligt behov bättre än dagens lösningar. Samhällsnyttan kan variera beroende på plats. Ett första steg är att finna de platser i det regionala nätverket som idag har brist/efterfrågan på kollektivtrafiklösningar - "linjer på tvären".

Tanken med att ha ett regionalt flyg är inte ny och vi bör lära av historien. I flygtrafikens tidiga utveckling fanns ett flertal regionala linjer, men i takt med att flyplanen blev större blev de storskaliga lösningarna med ett hub-system runt storflygplatserna mer kostnadseffektiva och konkurrerade ut de regionala linjerna. Med de nya teknikerna och med behovet av en snabb omställning till klimatneutrala lösningar kan dock situationen ändras. Vi behöver göra scenarionalyser som kan ge svar på var elflygen utgör en kostnadseffektiv i transportsystemet. I det sammanhanget är det viktigt att ha ett systemperspektiv och ett samhällsekonomiskt perspektiv. Exempelvis då likvärdig sjukvård ska finnas tillgänglig för hela regionens medborgare samtidigt som det är långa sträckor till sjukhusen. Flyget ingår inte i regionaltrafikens uppdrag i dagsläget. Att jämföra alternativkostnaden till elflyg för att uppnå samma samhällsnytta med traditionella transportslag blir ett viktigt underlag till beslutsfattare.

Utvecklingen och utbyggnad av infrastruktur kommer att ske stegvis med början på de sträckor där elflygen fyller en tydlig funktion och där det finns en efterfrågan. Effektbehov och eventuell infrastruktur för vätgas som energikälla är stora utmaningar. Politiska beslut krävs och ur ett forskningsperspektiv finns det ett behov av fakta för att utreda om och hur skattemedel som tas in idag skulle kunna användas för utbyggnad av nya lösningar. Det krävs forskning och systematiska analyser på transportsystemnivå (system-av-system) för att kunna hantera den här typen av stora skiften.

## 2.2.2 Klimat- och miljöaspekter och framtidens transportekosystem

En analys av en omfattande introduktion av elflyg kräver en god förståelse för dess miljö- och klimatpåverkan – både på kort och lång sikt. Det är också av stor vikt att fram underlag för att jämföra miljöpåverkan med andra transportalternativ som kommer att utvecklas och implementeras parallellt och därmed samverka, komplettera och ibland konkurrera med elflyg för att gemensamt tillhandahålla flexibilitet och kapacitet för långväga nationella personresor. Därmed finns behov av forskning som kartlägger miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv för olika alternativ för olika typer av elflyg och nödvändig markinfrastruktur, både avseende sådant som är under utveckling idag med implementering på ”kort sikt”, och idag mindre mogna lösningar, t.ex. med vätgaslager som är intressanta på lång sikt.

Det finns också behov av att skapa mer fördjupat och jämförbart underlag för andra alternativ som kräver större infrastrukturbyggnad, t.ex. höghastighetsjärnväg. Sådant forskningsunderlag är nödvändigt för att i senare eller parallell forskning kunna jämföra och beskriva avvägningar mellan t.ex. klimatnytta och resursanvändning, för olika vägval kring elflyg och i bedömningen av var det har störst potential att minska miljöpåverkan totalt sett för persontransporter i Sverige.

Mer specifikt så finns det behov av miljöbedömningsstudier både på detaljnivå för flygplan och laddteknik, och mer övergripande för transportsystemet. Flygplan och dess infrastruktur är inte alls lika beforskat med livscykelanalys eller andra miljöbedömningsmetoder som vägtransporter. Detta betyder också att det även inom utvecklings- och tillverkningsstegen finns möjlighet och behov guidning kring tekniska val för hur flygplanet och drivlinan utformas. Detta avser även metoder och strategier för att uppnå ökad komponentlivslängd och cirkulära materialflöden med återanvändning och återvinning.

Vätgasflyget öppnar för certifiering av flygplan med betydligt längre räckvidd. De största utsläppen sker idag runt 200-300 mil och dit kan vätgasflyget nå. Därigenom kan en väsentlig påverkan av flygets emissioner uppnås. Elflyget har framförallt stor potential för kortdistans och om inte flygandet på längre distanser förändras i stor utsträckning när det gäller antal mellanlandningar etc. så kommer miljönyttan av elflyget vara begränsad vilket tidigare utredningar slagit fast.

För att accelerera införseln av el- och vätgasflygplan är det viktigt att bättre förstå hur certifieringen av flygplanen kopplar till den teknik som behöver utvecklas. Då lång räckvidd är så extremt tekniskt svårt att uppnå för elflygplan kanske certifieringsprocedurerna kan förändras utan att flygsäkerheten påverkas negativt. Sådant forskning bör utföras i syfte att framföras inom ICAO, genom vår svenska representation, för att påverka internationella regelverk.

## 2.2.3 Frågor av utredande karaktär

Vem ska äga och sköta luftrummet.

Krävs ny lagstiftning för att möjliggöra regionalt flyg.

Nya krav som gäller för säkerhet, buller m.m. - detta påverkar t.ex. regler för luftrum.

## 2.3 Elförsörjning och kopplingen mot elnätet

### 2.3.1 Krav på elnätskapacitet

Ett ökat behov av elektricitet inom flygsektorn ger ny och ökad efterfrågan på elnätskapacitet. För att kunna möta behovet är det nödvändigt att känna till hur mycket elektricitet som behövs för flyg och andra fordon och byggnader på flygplatser samt hur behovet varierar över dygnet och året. Här ingår också forskning kring hur olika laddningsstrategier påverkar behov av elnätskapacitet samt möjligheten att använda lokala energilager eller lokal elgenerering. En del i en sådan forskning bör vara att undersöka vilka lärdomar som kan dras från andra tillämpningar och hur dessa kan användas inom flyget. Ett exempel är avancerad lastbalansering som används på bussterminaler.

Samtidigt bör forskningen också identifiera i vilken utsträckning och flyg och flygplatser skiljer sig från andra fordon/infrastruktur när det gäller krav på elförsörjning. Sådan forskning kan till exempel inkludera elektromagnetisk kompatibilitet och över- och undertoner och hur dessa påverkas av lokala installationer såsom laddinfrastruktur och solceller.

Den forskning som beskrivs ovan ska inte begränsas till dagens applikationer för gods- och persontransporter utan också inkludera den teknikutveckling som sker och nya applikationer som den kan för med sig. Ett område som särskilt bör beaktas är möjligheten till tätortsnära flygplatser men också att olika typer av farkoster (drönare, eVTOL, elflyg) kan kombineras på samma flygplats.

Slutligen är det viktigt att inkludera hur vi kan hitta en balans mellan att bygga för dagens teknik jämfört med att vänta in kommande lösningar och på så sätt undvika stranded assets. Kommande forskning bör därför också inkludera potentialen i att använda en kombination av till exempel el, vätgas och SAF. En möjlighet är att mindre/medelstora flygplan kan komma att introduceras initialt som vätgas/batterihybrid och allt eftersom batteritekniken förbättras kommer energibäraren att bytas ut mot mer kostnadseffektiva batterier. Vätgastekniken kan alltså skapa förutsättningar för elflygets framväxt.

När det gäller vätgasflygen kan det gå att nå tillräckligt god räckvidd för att det ska vara möjligt att återvända/flyga vidare utan att tankning behövs. Då kan ett mindre komplext nät av vätgasinфраstruktur byggas med väsentligt högre flygtäckning. Detta kan vara viktigt för de mindre flygplanerna. Det är ju naturligtvis också intressant om man kan tanka i Umeå på låg elkostnad (elektrolys) flyga till Stockholm och återvända på samma billiga elkostnad. Om kryotank används blir viktstraffet för extra vätgas lågt och detta bör då vara möjligt åtminstone för mindre flygplan. Minskningen i energieffektivitet är liten.

### 2.3.2 Samordning mellan olika transportslag och andra sektorer

En utbredd elektrifiering av samhället innebär att många sektorer behöver el. För ett effektivt utnyttjande av samhällets resurser behövs forskning kring hur olika sektorer och



den infrastruktur de behöver kan interagera och samordnas. Forskningen bör också inkludera möjligheter och utmaningar med lokal elgenerering.

Utöver tekniska aspekter är det också viktigt att utreda ekonomiska och legala aspekter kopplade till elnätets utbyggnad och bland annat beakta vilka aktörer som är involverade och vad dessa kan göra idag och om det behövs några förändringar för en effektiv elektrifiering.

### 2.3.3 Frågor av utredande karaktär

Finns det några särskilda aspekter på flygplatser som totalförsvaret kan ha synpunkter på.

Behövs en bredare risk- och sårbarhetsanalys - vad finns det för utmaningar/risker med att göra oss beroende av el i hög takt och i många olika sektorer samtidigt?

Kan omformuleringar av certifieringskrav, se EASA CS-23, leda till att man kan accelerera införandet av elflygplan.

## 2.4 Infrastruktur

### 2.4.1 Investeringar och affärsmodeller

Vilka investeringar måste flygplatserna ta? Hur styr nuvarande regelverk på investeringsallokering? Är allokeringen relevant, önskvärd? Hur lång tid tar det att ladda ett elflyg? Snabbladdning 30 min önskvärd. Vilken roll kan utbyte av batterier sk battery swapping spela i att förkorta tiden, hur ser en sådan värdekedja ut och vilka regelverk skulle i så fall behövas.

Behövs tankningsinfrastruktur på alla flygplatser? Hur ser möjligheten att planera tabeller och scheman utifrån ett infrastruktur- och behovsperspektiv ut. Det är önskvärdt med tester av hur olika delar av systemet kan fungera ihop. Elflyg, och vätgasflyg vad innebär det för flygplatsen, vilka tekniker ska man använda, möjligheter för egen elgenerering t ex solcellsparker, elektrolysteknik etc.

Det behövs mer forskning om affärsmodeller och elbehov. Energiföretagen vill ha besked redan nu om hur mycket el som behövs framöver; hur dimensionerar vi? Hur prioriteras laddning av flygplan i rusningstrafik? Affärsmodeller vad gäller bränslet är inte flygplatsernas ansvar utan bränslebolaget. Vem blir leverantören av elen? El-bolagen eller bränslebolagen? Hur ser framtidens samarbeten om flygets "affär" ut?

Hur kommer behov av infrastrukturen förändras. Luft- och markinfrastruktur hör ihop. Hur stor plats krävs för infrastrukturen och vilken är kostnaden. Det är viktigt att ta ett helhetsgrepp på flygplatsen inklusive kopplingen mot andra färdmedel.

Fler men mindre flygplan, drönare, hur påverkar det luftrummet?

Forskningsprojekt med längre horisont som blickar mot 2045 behövs.

#### 2.4.2 Frågor av utredande karaktär

Regelverk och säkerhetskrav måste fram på flygplatserna för att kunna implementera elflyget på ett bra sätt. Inventering av alla sakägare med rådighet över de olika komponenterna av flygplatsens elektrifiering, samt virtuella tester av tillståndsprocess samt reglernas duglighet/lämplighet behövs.

Affärsmodeller, t.ex. vid battery swapping – vem äger batterierna och swapping-infrastrukturen?

Tidig standardisering krävs för att få samhällsnyttiga lösningar, viktigt med forskningsfinansiering för att utveckla standarder utifrån faktabaserat underlag.

### 3. Summering

Frågan om hur elflygens introduktion och uppskalning ska gå till är starkt beroende av hur man kan visa på samhällsnytta och hur nödvändiga investeringar kan finansieras. Det finns inget självändamål med elflyg - det skall fylla ett behov, alternativt möta ett befintligt behov bättre än dagens lösningar.

En analys av en omfattande introduktion av elflyg kräver en god förståelse för dess miljö- och klimatpåverkan – både på kort och lång sikt. Det är också av stor vikt att ta fram underlag för att jämföra miljöpåverkan med andra transportalternativ som kommer att utvecklas och implementeras parallellt.

Det behövs mer forskning om affärsmodeller och elbehov. Vilka investeringar måste flygplatserna ta? Hur ser möjligheten ut att planera tidtabeller och scheman utifrån ett infrastruktur- och behovsperspektiv. Det är önskvärt med tester av hur olika delar av systemet kan fungera tillsammans.

Ett ökat behov av elektricitet inom flygsektorn ger ny och ökad efterfrågan på elnätskapacitet. För att kunna möta behovet är det nödvändigt att känna till hur mycket elektricitet som behövs för flyg och andra fordon och byggnader på flygplatser samt hur behovet varierar över dygnet och året.

I denna forskning ingår hur olika laddningsstrategier påverkar behov av elnätskapacitet samt möjligheten att använda lokala energilagring eller lokal elgenerering. En utbredd elektrifiering av samhället innebär att många sektorer behöver el. För ett effektivt utnyttjande av samhällets resurser behövs således även förståelse för hur olika sektorer och den infrastruktur de behöver kan interagera och samordnas.

För systemet ombord kommer den elektriska drivlinan att påverka det mesta. Den mest prioriterade frågeställningen gäller energilagrets energitäthet. Hög energitäthet hos energilagret är ett krav, säkerhet och redundans måste garanteras.

Nya motortopologier med ännu högre effekttäthet för att minska vikten och ökad tillförlitlighet är önskvärda. Precis som med energilagret kan kylning av drivlinan kan vara utmanande på grund av låg luftdensitet. Möjligheter för integrerad värmehantering för drivlinan och batterier / bränslecell är därför intressanta.

## 4. Appendix A: Övergripande frågeställning och diskussionsfrågor grupparbete

### 4.1 Teknik: system och hårdvara ombord

#### Övergripande frågeställning:

Teknisk innovation på system och komponentnivå för att stärka elektrifiering av flyg

#### Diskussionsfrågor:

1. Vilka system i flygplanet behöver elektrifieras?
2. Hur ser lastcyklerna/energibehovet ut för ett flyguppdrag?
3. Vilka speciella tekniska krav på komponenter inklusive redundans ställer elflyg i jämförelse med elektriska vägfordon?
4. Vilka komponenter är mest kritiska i en elektrisk drivlina för flyg?
5. Var finns det därigenom störst behov av forskning och utveckling?

### 4.2 Miljö och samhälle

#### Övergripande frågeställning:

Vilken forskning behövs för en hållbar implementering av elflyg?

#### Diskussionsfrågor:

1. Vilken roll kommer den första generationen elflyg att ha i transportsystemet? Detta inkluderar (a) vilka flygplatser/orter kommer att vara intressanta; (b) vilka resor/transporter som ersätts; och (c) vilka resor och resmönster kan tillkomma pga. nya möjligheter?
2. Vilka samhällsekonomiska analyser bör göras baserade på de möjliga scenarier för introduktion som kan identifieras?
3. Vilken miljönytta kan uppnås, med utgångspunkt från de resmönster som uppträder, och vilka resor som ersätts?
4. Vilken samhällsnytta kan uppnås, med utgångspunkt från de resmönster som uppträder, och vilka resor som ersätts?

### 4.3 Elförsörjning och kopplingen mot elnätet

#### Övergripande frågeställning:

Vilken forskning behövs för att kunna försörja elflyg med energi?

#### Diskussionsfrågor:

1. Vilken laddinfrastruktur/nätkapacitet behövs vid flygplatser? Vilken energianvändning och lastprofil kräver den första generationens elflyg, hur

- påverkar det nätet samt hur påverkas total *energianvändning* och sammalagrad last (givet att elflyg ersätter andra transporter).
2. Hur kan laddinfrastruktur och lastprofil se ut på en flygplats jämfört med andra delar av en elektrifierad transportsektor så som lastbilsterminaler och hamnar. Finns andra krav på elkvalitet jämfört med laddning på dessa platser? Hur ser potentialen för samarbete om nätkapacitet/infrastruktur mellan trafikslag?
  3. Vad finns för möjlighet till lokal elgenerering, från exempelvis solceller, och energilagring på flygplatserna givet krav på elkvalitet och säkerhet etc.?
  4. Vad finns för möjligheter till samarbete och synergier med andra elproducenter och elförbrukare

#### 4.4 Infrastruktur för elflyg

##### Övergripande frågeställning:

Vilken forskning behövs kring infrastruktur för elflyg?

##### Diskussionsfrågor:

1. Vilka speciella tekniska krav inklusive redundans på infrastruktur ställer hantering av elflyg i jämförelse med elektriska vägfordon?
2. Vilka komponenter är mest kritiska?
3. Var finns det därigenom störst behov av forskning och utveckling?

#### 4.5 Övriga diskussionsfrågor

1. Vad finns att lära från andra omställningsprocesser i t.ex. energi eller transportsystemet? Finns det liknande erfarenheter av en "technology push"?
2. Av mer utredningskaraktär (men ej forskning i våra ögon) finns frågor om juridik och regler: Krävs det nya regler för nyttjande av luftrummet och korridorer för elflyg?
3. Sociologiska aspekter > kommer människor att vilja flyga elektriska flygplan (inkl flygtaxi)?

## 5. Appendix B: Deltagarlista

Namn	Företag/organisation/lärosäte	Roll
Linda Olofsson	Swedish Electromobility Centre (SEC)	Arrangör
Ulrika Geeraedts	Region Skåne	Arrangör
Fredrik Kämpfe	Transportföretagen	Arrangör
Francisco Marquez	Lunds Universitet / SEC	Gruppledare
Göran Lindbergh	KTH / SEC	Protokollförare
Anders Grauers	Chalmers	
Emma Grunditz	Chalmers	
Jonas Fredriksson	Chalmers / SEC	
Mathias Hagman	SAAB Aeronautics	
Petter Krus	Linköpings universitet	
Luca Peretti	KTH / SEC	Gruppledare
Lars Eriksson	Linköpings Universitet / SEC	Protokollförare
Anders Lundblad	RISE	
Christopher Jouannet	Saab Group	
Daniel Brandell	Uppsala Universitet / SEC	
Evelina Wikner	Chalmers	
Mauritz Andersson	AirForestry AB	
Tomas Grönstedt	Chalmers	
Yujing Liu	Chalmers	
Magnus Blinge	Linköpings Universitet / Scania / SEC	Gruppledare
Magnus Eek	VTI	Protokollförare
Anders Sjunnesson	GKN Aerospace	
Annelie Viksten	Skellefteå Science City	
Emma Morin	Skånetrafiken	
Lars Westin	CERUM Umeå Universitet	
Rickard Arvidsson	Chalmers	
Anders Nordelöf	Chalmers / SEC	Gruppledare
Arnaud Contet	TitanX	Protokollförare
Katarina Wigler	Trafikverket	
Lena Åström	Ängelholms kommun	
Valeria Castellucci	Uppsala Universitet	Gruppledare
Mikael Lantz	Lunds Tekniska Högskola / SEC	Protokollförare
Britt Karlsson-Green	Region Skåne	
Jennifer Leijon	Uppsala Universitet	
Jonny Johansson	Luleå Tekniska Universitet	
Lars Spångberg	Trafikverket	
Niklas Kronberg	Ängelholms flygplats	
Svetla Käck	VTI	
Ulf Svensson	Ängelholms flygplats	

<b>Anders Josephsson</b>	Transportföretagen	Gruppledare
<b>Ann Landerholm</b>	Transportföretagen	Protokollförare
<b>Hampus Alfredsson</b>	RISE	
<b>John Nilsson</b>	Swedavia	
<b>Magnus Wiklund</b>	Skellefteå Airport – ELIS och Testbädd elflyg	
<b>Mari Torstensson</b>	Sveriges Regionala Flygplatser/Grön Flygplats	
<b>Rein Jüriado</b>	Trafikverket	