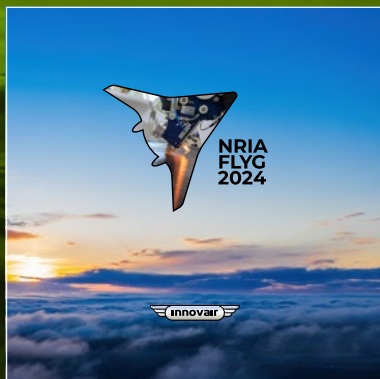


Civil flygteknik: Hållbart flyg

Flygandet måste bli mer hållbart. I det här kapitlet beskriver vi hur vi möter klimatförändringarna. Detta är förutsättningarna, behoven och möjligheterna.



Ett utdrag ur:

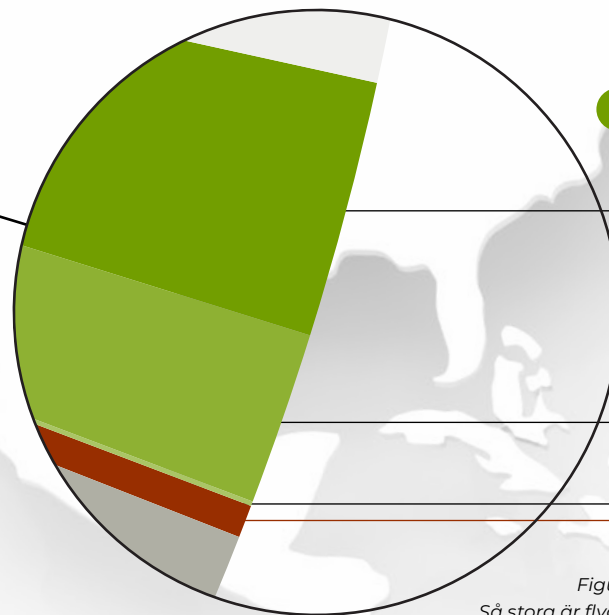
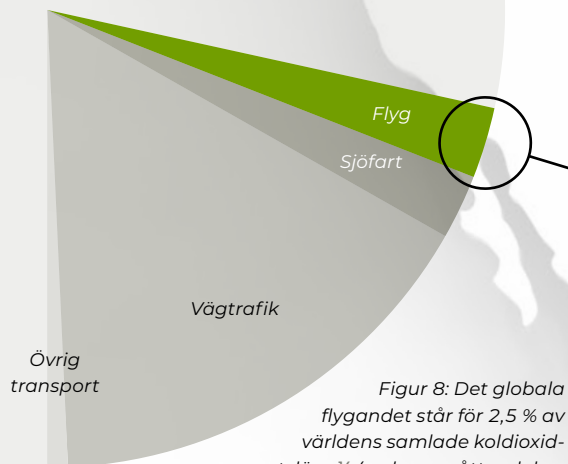


5

Civil flygteknik: Hållbart flyg

Flygandet måste bli mer hållbart. I det här kapitlet beskriver vi hur vi möter klimatförändringarna. Detta är förutsättningarna, behoven och möjligheterna.

Alla text- och bildhänvisningar i den här utdrags-PDF:en gäller NRIA Flyg 2024 i sin helhet. Du laddar ned dokumentet på innovair.org/nriaflyg2024



FLYGETS MILJÖ- OCH KLIMATPÅVERKAN

Flygets miljö- och klimatpåverkan är en central faktor för den forskning som sedan lång tid har prioriterats av Innovair och inom NFFP-programmet. Den är också en primär drivkraft för flygindustrin i dess val av nationella satsningar såväl som för medverkan i

de stora internationella programmen. Flygtekniksektorn arbetar hårt för att minska både flygets absoluta mängd utsläpp och flygets andel av de totala utsläppen och målet är att allt flyg ska vara klimatneutralt 2050.

Det huvudsakliga miljö- och klimat-

problemet för överskådlig tid framåt är utsläppen av växthusgaser, främst koldioxid. Flygandet står för omkring två och en halv procent av de globala utsläppen av koldioxid (se figur 8), vilket motsvarar en knapp åttandel av hela transportsektorns utsläpp, i paritet

L LÅNGDISTANSFLYG – 250 PASSAGERARE ELLER FLER

- **Andel av globala CO₂-utsläpp från flyg:** cirka 55 %¹⁶
- **Andel av totala globala CO₂-utsläpp:** cirka 1,4 %¹⁶
- **Framdrift:** I detta segment ligger fokus på utveckling av traditionell framdriftsteknik mot avsevärt lägre bränsleförbrukning. Målet är 30 % minskade CO₂-utsläpp från flygplan som introduceras 2030. Bränslemässigt kan total fossilfrihet nås via SAF (först SAF-bio och längre fram SAF-PTL).
- **Aktörer i Sverige:** GKN Aerospace, Saab Aeronautics + samverkande SMF.

M MEDELDISTANSFLYG – CIRKA 150 PASSAGERARE

- **Andel av globala CO₂-utsläpp från flyg:** cirka 37 %¹⁶
- **Andel av totala globala CO₂-utsläpp:** cirka 0,9 %¹⁶
- **Framdrift:** Här fokuseras både på vätgasframdrivning genom förbränning av vätgas i turbofläkt- eller turbopropmotorer och lägre bränsleförbrukning genom ultraeffektiva flygplan och motorer. En utmaning ligger i bränslesystem för kryogent (extremt lågtempererat) bränsle.
- **Aktörer i Sverige:** GKN Aerospace, Saab Aeronautics + samverkande SMF.

Huvud-
fokus för
Clean
Aviation

R REGIONALFLYG – TYPISKT UPP TILL 50 MIL, UPP TILL 40 PASSAGERARE

- **Andel av globala CO₂-utsläpp från flyg:** cirka 1 %¹⁶
- **Andel av totala globala CO₂-utsläpp:** cirka 0,03 %¹⁶
- **Framdrift:** I den här storleksklassen fungerar hybriddrift där elen kommer från gasturbindrivna generatorer eller vätgasbränsleceller i kombination med batterier. Flera olika hybridkoncept studeras.
- **Aktörer i Sverige:** GKN Aerospace, Powercell, Heart Aerospace, FOI, Saab Aeronautics + samverkande SMF.

K KORTDISTANSFLYG – TYPISKT UPP TILL 20 MIL, UPP TILL 10 PASSAGERARE

- **Andel av globala CO₂-utsläpp från flyg:** mycket liten¹⁶
- **Andel av totala globala CO₂-utsläpp:** mycket liten¹⁶
- **Framdrift:** Här finns marknaden för batteriflyg, som kanske är den mest lockande lösningen med hög verkningsgrad och enkla system. Batteriutvecklingen styr möjligheten att klara längre räckvidder.

Alltför
liten
andel
för att
synas i
figur 9.

¹⁴ ourworldindata.org/global-aviation-emissions

¹⁵ ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport

¹⁶ CO₂-utsläppsandelarna gäller flygande och är bedömda utifrån respektive segments andel av total flygbränsleförbrukning.

Figur 10: I denna sammanställning, där exemplen på sträckor och olika framdrivning är ett tänkt scenario för 2050, framgår det tydligt att medel- och långdistansflyg står för den överlägset största andelen (över 80 %) av bränsleförbrukningen – som kan anses vara ett rimligt måttvärde på koldioxidutsläpp. Mindre regionalflyg och små kortdistansflyg svarar bara för någon procent av förbrukningen/utsläppen. Det är av denna anledning som Innovair koncentrerar den civila delen av sin kärnverksamhet till medel- och långdistansflyg.



Figur 11: En titt på någon av de tjänster som tillhandahåller realtidsdata över flyg (här FlightRadar24.com) visar att vid varje given tidpunkt sker de stora flygrörelserna på annan plats i världen än internt i Sverige – i marknadssegment som inte förekommer regionalt i Sverige, och inom vilka vi inte har några egna OEM.

med sjöfartens och en knapp sjättedel av vägtrafikens.

Den svenska inrikesluftfartens utsläpp är lägre och står för cirka en procent av vårt lands utsläpp av växthusgaser.

FRAMDRIVNINGSLTERNATIV FÖR FOSSILFRITT FLYG

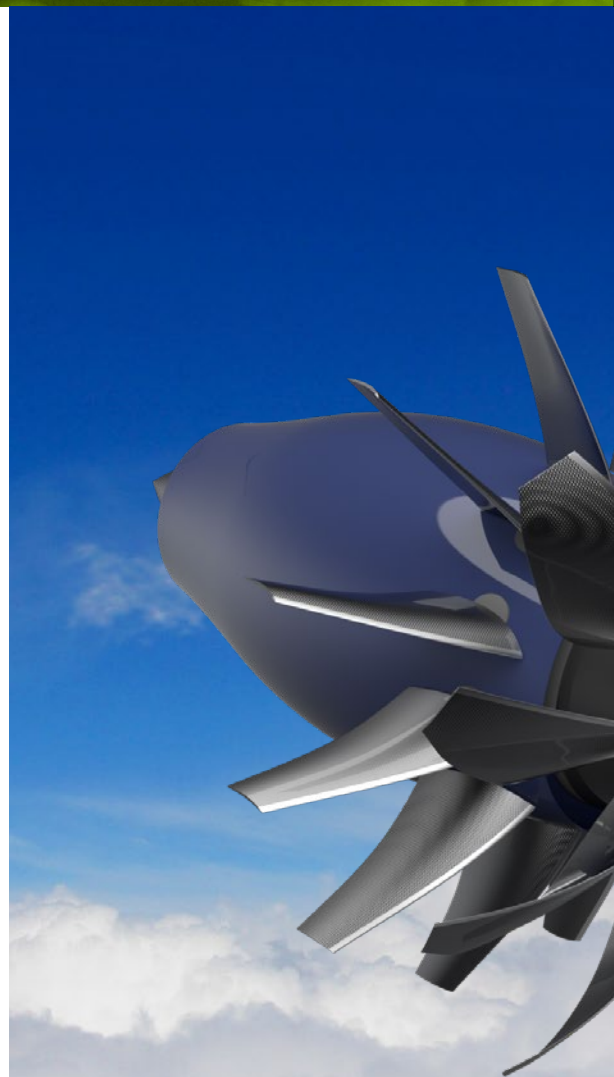
Sedan Innovairs förra strategiska innovationsagenda, NRIA Flyg 2020, har satsningarna på fossilfritt flyg accelererat. Ett tydligt tecken på detta är det stora EU-programmet Clean Aviation som startade 2022 och som till skillnad från föregångarna Clean Sky 1 och 2 innehåller stora satsningar på helt fossilfritt flyg.

En del av utvecklingsbehovet berör fossilfria bränslen, och där är huvudkandidaterna främst hållbart kolvätebaserat flygbränsle (ofta benämnt SAF – Sustainable Aviation Fuel) och vätgas som förbränns i jetmotorer. Ett annat spår är att vätgas används i bränsleceller för att generera el för elmotordrift. Ytterligare spår handlar om att elmotorer matas av el från batterier. Hybridlösningar mellan el och förbränning utgör också varianter.

Ännu fler blir utvecklingsspåren om man tittar utanför själva motor- och bränsleområdet, där betydande utveckling sker av allt från lättviktsmaterial till helt nya flygplanskoncept. Dessutom kan el användas i högre utsträckning än i dag för att sköta funktioner ombord. Spannet av möjligheter är alltså mycket brett och omfattar utvecklingssteg av disruptiv karaktär, liksom stegvis utveckling av befintlig teknik. Många olika tekniskspår för fossilfritt flyg utvecklas nu därför parallellt (se **fördjupning A, B** – länk på sida 3).

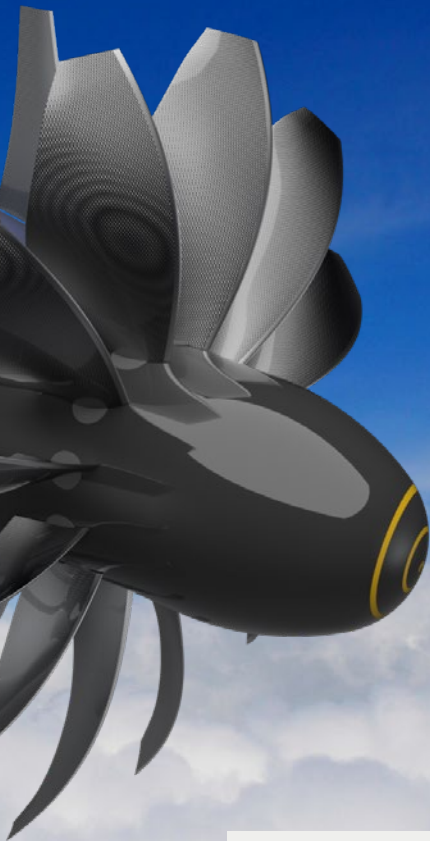
En relevant svensk rapport¹⁷ i detta sammanhang kommer från Energimyndighetens uppdrag till Saab, Chalmers, GKN Aerospace och Linköpings Universitet, med analyser

¹⁷ Svenskt hållbart flyg-Teknologi och förmåga bedömning mot 2045, slutrapport, Energimyndigheten diariernr 2021-015938.



FOSSILFRIA BRÄNSLEN OCH KOLDIOXID

Fossilfria kolbaserade bränslen ger också utsläpp av koldioxid. Miljö- och klimatvinsten är att denna koldioxid inte tillförs kretsloppet från jordens inre, utan tas från kretsloppet på ett eller annat sätt.



av de möjligheter som olika tekniska lösningar erbjuder för att uppnå fossilfritt flyg 2045.

De olika teknikspår som nämnts ovan har olika tekniska utmaningar och olika för- och nackdelar, vilket gör att olika spår passar för olika flygsegment (flygplansstorlekar, flyghastigheter och räckvidder, se figurer 9 och 10). I detta sammanhang är det viktigt att känna till vilka segment som står för de största utsläppen i det globala flygtransportsystemet så att man i första hand gör insatser i de segment där de får störst effekt (se kapitel 3 samt **fördjupning A, B** – länk på sida 3). Synsättet bör utgöra grund för prioriteringen av de svenska medlen för forskningsinsatser avseende fossilfritt flyg (se vidare rekommendation 2).

För maximal effekt (i termer av klimatnytta) av EU-medel har Europeiska kommissionen och flygindustrin tillsammans beslutat att det stora demonstratorprojektet Clean Aviation ska fokusera på i första hand de segment där EU:s flygindustri kan bidra och göra skillnad inom de segment där de största utsläppen från flyget sker i dag. I sin SRIA¹⁸ pekar Clean Aviation tydligt ut tre huvudområden:

- **ultraeffektiva** flygplan/motorer i segmentet medeldistansflyg (exempelvis A320 och B737), där målet är 30 % minskad bränsleförbrukning och möjlighet till framdrivning med 100 % SAF;

- **vätgasframdrivning** – både förbränning i jetmotorer (turbofläktmotorer) och turbopropmotorer samt med hjälp av bränsleceller;
- **hybridelektriskt** regionalflyg. Clean Aviation har medvetet valt bort andra segment då de bidrar för lite till de globala CO₂-utsläppen (såsom drönare/UAS och helikoptrar).

UTMANING: Det behövs en fortsatt och utökad svensk satsning på teknikutveckling för fossilfritt flyg med fokus på de segment som har störst klimatpåverkan, det vill säga medeldistans (cirka 150 passagerare) och långdistans (250 passagerare).

UTMANING: För att nå klimatmålen krävs samarbete, med etablerade såväl som nya aktörer, samt en accelererad process att utveckla nya lösningar. Det innebär bland annat en snabbare och mer parallell designprocess än tidigare, samt en parallell utveckling även inom produktion och infrastruktur för de nya energikällorna.

BRÄNSLEPRODUKTION

Flyget kommer inte att elektrifieras i samma omfattning – eller lika snabbt – som inom marktransportsektorn. Or-

¹⁸ clean-aviation.eu/strategic-research-and-innovation-agenda-sria

ANDRA UTSLÄPP ÄN KOLDIOXID

Utöver CO₂ sker vid flygning utsläpp av andra växthusgasar, partiklar och vattenånga. Dessa kan resultera i såväl uppvärmning som avkyllning av atmosfären, men uppvärmningen dominerar.

En parameter i beräkningarna brukar benämnas höghöjdseffekten, vilket syftar på att utsläppen sker vid flygning på mer än cirka 8 000 meters höjd. Ofta bildas kortlivade

kondensstrimmor på hög höjd och vid vissa meteorologiska betingelser utvecklas dessa till vidsträckt cirrusmoln, vilket bidrar till växthuseffekten. Systemet är komplext och mycket forskning återstår, i samverkan med meteorologiska FoU-aktörer (läs mer på innovair.org/hoghojdseffekt).

Sammantaget har effekterna av all flygning beräknats vara knappt fem procent av den globala uppvärmningen.

sakerna är flera, vilka beskrivs i detalj i **fördjupning C** – länk på sida 3.

Därför kommer flyget inom över-skådlig tid att vara beroende av olika sorters bränslen. Frågan om tillgång på sådana bränslen kommer därför att fortsätta öka i betydelse. Säkerhets- och klimatpolitiska perspektiv på frågan sammanfaller också allt mer. Men så länge det inte finns tydliga regelverk och en dokumenterad efterfrågan har branschaktörerna varit försiktiga med att göra satsningar för att bygga produktionsanläggningar. I dag är marknaden och viljan till investering helt styrd av politiska beslut. Och så länge det inte produceras stora mängder av dessa bränslen är de så dyra att flygbolagens och resenärernas vilja att betala vad det kostar är mycket begränsad.

Aspekter på bränsleproduktion och de olika alternativen beskrivs närmare i **fördjupning C** – länk på sida 3.

UTMANING: Det behövs en nationellt koordinerad satsning för att säkra tillgång till SAF och vätgas – och den gröna elektricitet som behövs för att skapa dessa.

I **fördjupning F** – länk på sida 3 – finns ett avsnitt som berör internationella samarbeten som är viktiga för att säkerställa resiliens och även interoperabilitet avseende flygbränsle för militära jetflygplan. Här måste samtidigt finnas en tydlig koppling till den generella utmaningen kring hållbart flyg och de bränslen som krävs för att nå klimatmålen. Redan 2017 demonstrerades att ett Gripenflygplan kunde flyga på 100 % biobränsle. Militärt flyg kan ha specifika krav vad gäller exempelvis tillgång till flygbränsle i konflikttider, långtidslagring och lagring i fält, men i huvudsak bör utvecklingsmålet vara fossilfritt bränsle för all flygtrafik.

I resiliensbegreppet ligger inte minst

att över tid ha tillgång av sådana bränslen som krävs samt skapa förutsättningar för inhemsk produktion. Sverige har möjlighet, förutsatt erforderliga politiska beslut, att etablera en sådan produktion, som ett led i att uppnå klimatmålen och samtidigt bli självförsörjande på fossilfritt bränsle.

UTMANING: Sverige behöver identifiera förutsättningarna för kritisk självförsörjning och skapa resilienta värdekedjor för flygbränsle.

CIRKULARITET

En speciell aspekt på hållbarhet är att minimera den miljöpåverkan som utveckling, produktion, användning och avveckling av flygets produkter, primärt själva flygplanen bidrar till. Beställare inom flygsektorn samt svensk flygindustri bör ha detta inkluderat i sina processer. Såväl tillverkningsmetoder som livscykelräkning är utmaningar som kan vändas till konkurrensfördelar, med miljö och hållbarhet som huvudargument. Därför bör åtgärder för ökad cirkularitet betonas i flygsektorns utvecklingsplaner och även ingå i nya FoU-initiativ. Läs mer i **fördjupning D** – länk på sida 3, där vi även ger några exempel på cirkulärt tänkande ur ett miljöperspektiv.

UTMANING: Hela livscykelns miljöpåverkan behöver inkluderas i planeringen för nya produkter, med ett cirkularitetstänkande som grund.

LUFTRUM

I ambitionen att minska utsläpp och klimatpåverkan från flyg spelar åtgärder kopplade till luftrum, ruttplanering med mera en viktig roll – frågeställ-



FÖRSTA HALVGRÖNA FLYGPLATSEN

2023 beslutade Trollhättan-Vänersborgs flygplats att som första flygplats i världen endast erbjuda tankning med (maximalt tillåtna) 50 % förnybart bränsle. Västflyg opererar därför alla sina rutter därifrån på sådant bränsle, med stöd från bland annat GKN Aerospace.

ningar som ligger högt på agendan hos LFV, Eurocontrol, ICAO, IATA med flera centrala luftfartsorganisationer¹⁹.

Arbetet med att öka hållbarhet, och minska negativa klimat- och miljöeffekter innefattar inte bara introduktion av flyg med icke-fossila bränslen, det handlar bland annat också om bättre stödverktyg och informationsutbyte mellan ATC och lufrumsanvändare för ökad predikterbarhet och effektivare sekvensering (ankomst- och avgångsflöden), effektivare inflygningsprocedurer med högre navigationsprecision och lateralt/vertikalt anpassade procedurer, samt dynamisk tilldelning av marschhöjder för att motverka negativa höghöjdseffekter.

Den europeiska luftfartsorganisationen Eurocontrol påpekar att osäkerheten kring effekterna av kondensstrimmor (se faktaruta om andra utsläpp än koldioxid i början av detta kapitel) fortfarande är så pass stor att man inte ännu vill etablera nya regler. Men man framhåller behovet av ”moving from the concept of a green trajectory to a climate trajectory”, varmed man menar att fokusera längre än att reducera CO₂, för att på allvar tackla andra utsläpp än CO₂ (non-CO₂ emissions). Dessa två ambitioner får inte motverka varandra (framhåller Eurocontrol); val av route-planering med mera måste utgå från optimeringstänkande där det ingår målkonflikter. Detta kräver en grund i data och forskning (samt vad gäller kondensstrimmor även samverkan med vädertjänsten).

Läs mer om lufrum i **fördjupning E** – länk på sida 3.

¹⁹ ICAO, International Civil Aviation Organization; IATA, International Air Transport Association; Eurocontrol, stödjer EU:s medlemsstater och dess strävan efter förenklade procedurer i ett gemensamt europeiskt lufrum.

BEHOVET AV SYSTEMFÖRSTÅELSE

Att klara av omställningen till ett fossilfritt samhälle kräver systemförståelse för att kunna väga olika investeringar mot varandra. Ska vi storsatsa på ny kärnkraft, bygga ut våra sista älvar, öka takten i investeringar i vind- och solkraft – eller ska vi göra allt av detta? Systemförståelse ger information om huruvida en tänkt investeringsplan kommer att ge god miljönytta, robusthet, resiliens – och samhällets acceptans.

Om vi tar ett flygplan som exempel ger systemförståelse information om vilka delsystem som har störst potential att förbättra planetets totalprestanda. Vi kan se vilka områden som är flaskhalsar, och vi kan även se vilka delområden som ”överpresterar” och är betydligt starkare än övriga länkar i kedjan – och därmed förmodligen är alltför dyra.

Denna systemförståelse är en utomordentligt viktig komponent i både civil och militär flygteknisk innovation av sagda två skäl: svaga punkter kan identifieras, liksom onödigt dyra lösningar. Detta bidrar till den innovationseffektivitet som vi är beroende av för att nation kunna konkurrera mot andra flygnationer i kampen om utvecklingskontrakten.

Sverige har länge varit framstående inom utveckling av system av system, vilket har bidragit till att ge oss den styrkeposition vi har inom flygteknisk utveckling. Frågan om systemförståelse gäller naturligtvis även på samhällsnivå. Det civila flygets utveckling styrs övergripande av de transportpolitiska målen där tillgänglighet dominerar, samtidigt som hållbarhetsutvecklingen prioriterar klimatpåverkan framför annan önskad miljöpåverkan. Miljö- och klimatproblemen med flyg har inte en enskild, ur alla avseenden hållbar,

lösning. Komplexiteten i flygsystemet påverkar möjligheterna att kontrollera utveckling och funktion, vilket kan leda till oönskade konsekvenser.

Hållbarhetsfrågor är komplexa och ställer ökade krav på att kunna balansera målkonflikter, hantera dessa och ha tillräcklig förståelse för övergripande systempåverkan och krav, med tillräckligt många systemperspektiv från olika intressenter för att visa att man beaktat dessa. Systemutvecklare och beslutsfattare behöver kunna visa vilka val man har gjort och att man är medveten om vilka trade-offs man gör lokalt och globalt.

UTMANING: Sverige behöver säkerställa att vi även i framtiden behåller – och stärker – vår förmåga till systemförståelse. Det gäller på alla nivåer och inom alla trippelhelix-ben, från akademi och institut via industri till offentlig sektor.

I **fördjupning A, B, C, D** – länk på sida 3 – ges en utökad redovisning av faktorer med koppling till miljö och hållbart flyg.

Så lånt...
Nu k...
me...
för...
och...
inno...
där?

Alla text- och bildhänvisningar i den här utdrags-PDF:en gäller NRIA Flyg 2024 i sin helhet. Du laddar ned dokumentet på innovair.org/nriaflyg2024.

UTDRAG UR NRIA FLYG 2024

Detta är ett utdrag ur NRIA Flyg 2024, den strategiska agendan för svensk flygforskning och -innovation. Målsättningen är att stärka förutsättningarna för internationell konkurrenskraft inom det flygtekniska innovationsområdet. Dokumentet är framtaget av nyckelpersoner vid universitet/högskolor, institut, företag, intresseorganisationer och myndigheter (ACS · Chalmers · FM · FMV · FOI · GKN Aerospace · KTH · LiU · NFFP · Saab · SARC · Svenskt Flyg samt SMF och arenor) under processledning av Innovair, vilka tillsammans äger alla rättigheter till dokumentet. Innehållet får gärna citeras om källan uppges tydligt.

FOTO/RENDERING

Omslag, 26–31 iStockphoto.com/narvikk · 26–27 Jezper/Shutterstock.com · 28 FlightRadar24.com · 28–29 GKN Aerospace · 30–31 Evgeny Karandaev/Shutterstock.com

PROCESSLEDARE/REDAKTÖRER

Gunnar Linn Linnkonsult
Mats Olofsson AMOLO Foresight Consulting

FORMGIVARE

Gunnar Linn Linnkonsult

PROJEKTLEDARE

Yvonne Rosmark Innovair

Ladda ned den fullständiga NRIA Flyg 2024 på innovair.org/nriaflyg2024 eller efterfråga ett tryckt exemplar via info@innovair.org



DET STRATEGISKA INNOVATIONS-
PROGRAMMET FÖR FLYG

I samarbete med

AEROSPACE
CLUSTER
SWEDEN



info@innovair.org
innovair.org