

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Teststräcka för eVTOL	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Test track for eVTOL	
Universitet/högskola/företag Skellefteå City Airport AB	Avdelning/institution
Adress Skellefteå Flygplats, 931 92 Skellefteå	
Namn på projektledare Henrik Littorin	
Namn på ev övriga projektdeltagare Annelie Viksten	
Nyckelord: 5-7 st Elflyg, eVTOL, EMI, EMC, Vertiports, Testflygningar	

## Förord

Projektet har stöttats av Skellefteå Airport, Luleå Tekniska Universitet, Skellefteå Kraft, ACR och Northvolt. Skellefteå Science City har agerat projektkoordinator och säkrat framdrift, struktur och kommunikation av projektet. Projektet har tagit ett brett angreppssätt gällande test, utveckling och kommersialisering av eVTOL-trafik samt de EMC-utmaningar som uppstår vid elektrifiering av luftfart. Detta har krävt en stor bredd på kompetensen. Tack vare ett engagerat och nyfiket angreppssätt hos de medverkande har betydande kunskap genererats inom ett flertal relevanta områden. Katla Aero har bidragit med stor kompetens i planering, genomförande och uppföljning av de testflygningar som genomfördes inom ramen för projektet.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning/Bakgrund	5
Genomförande	6
AP 1 Markinfrastruktur	6
AP 2 Luftrumfrågor och tillståndsfrågor	7
AP 3 Framtagande av business case för nyttjande	8
AP 4 Elektromagnetisk interferens från laddningssystem för eldrivna luftfartyg med utgångspunkt i eVTOL	9

Personella resurser	9
Litteraturstudier och regelverk	9
Mätningar	10
Utstrålad emission	10
Ledningsbunden emission	12
AP 5 Projektledning, projektadministration och kommunikation	13
<b>Resultat</b>	<b>16</b>
AP 1 Markinfrastruktur	16
AP 2 Luftrumfrågor och tillståndsfrågor	21
Vad som kan återanvändas vid nya tillstånd	29
Utvecklingsmöjligheter	29
AP 3 Framtagande av business case för att nyttja teststräckan samt för kommersiell trafik på motsvarande sträcka	30
Bakgrund	30
Business Case – eVTOL	31
Översiktlig bild över potentialen för kommersiell trafik	35
Hypotetiska sträckor lokalt	39
Kostnader relaterat till testverksamhet - Skellefteå Airport och Northvolt Ett	45
Potentiella testare – eVTOL-tillverkare	46
Utbildning av piloter	46
Sammanfattning och slutsatser	47
AP 4 Elektromagnetisk interferens från laddningssystem för eldrivna luftfartyg med utgångspunkt i eVTOL	48
Litteratur och standarder	48
Certifiering av flygmaskiner	48
EMC-direktivet	50
EMC-standarder	51
Mätningar	52
Utstrålad emission, 10 kHz - 30 MHz	52
Utstrålad emission, 30 MHz - 1 GHz	54
Ledningsbunden emission	56
Komponent vid 133 kHz i uppmätt spänning.	57
Nätverk och fortsättning	58
Projektet Grön Flygplats	59
EMC för den autonoma flygplatsen	59
Testbädd för EMC hos elflyg	60
<b>Diskussion</b>	<b>60</b>
<b>Referenser i urval</b>	<b>62</b>
<b>Bilagor</b>	<b>64</b>

## Sammanfattning

Projektet har syftat till att dels öka kunskapen om framtida trafik med vertikalstartande, eldrivna flygfarkoster, så kallade eVTOL, genom projekteringen av en tänkt teststräcka mellan Skellefteå Airport och Northvolt Ett. Projektet har även syftat till att öka kunskapen om de elektromagnetiska störningar som kan uppstå när delar av flygtrafiken elektrifieras. Genom arbetet har projektet fått fram kunskap kring vad som krävs på marken och i luftrummet samt hur tillståndsprocesserna ser ut för att få testverksamhet att fungera i praktiken. Projektet har även analyserat vilka kostnader som kan tänkas uppstå när man inleder kommersiell trafik men även vilka kostnader som är förknippade med testverksamhet.

Det kan konstateras att det ännu inte finns något exakt regelverk kring markinfrastrukturen och det finns flera frågetecken kring bl.a. buller, säkerhet och acceptans. Detta innebär att användarna samt offentliga aktörer, inklusive kommuner, måste involveras på ett tidigt stadium i utvecklingen.

Projektet bedömer att luftrumsfrågorna går att hantera om farkosterna flygs med pilot vilket kommer att vara fallet i inledningen. För autonom drift finns ännu inget regelverk på plats samtidigt som detta är helt beroende av avancerade sensorer, radar, höghastighetsuppkoppling, positioneringsverktyg m.m. med ytterst stabila och kraftfulla prestanda. Projektet har även visat att det finns utmaningar kring robustheten i kyla och i tuffa väderförhållanden och att det blir viktigt att testa och utveckla ekosystemet i verkliga förhållanden.

När det gäller testverksamhet finns inga enhetliga eller standardiserade tillståndsprocesser utan varje enskilt testprojekt kräver ett specifikt tillstånd. Samtidigt har projektet byggt kunskap och tagit fram underlag gällande den aktuella teststräckan vilket kan återanvändas i framtida ansökningar om tester.

Projektet har visat att eVTOL-transporter kan vara ett energieffektivt och tidsmässigt konkurrensmässigt transportsätt för både privata, offentliga och samhällsnyttiga transporter. Initial trafik kommer dock att bli dyr vilket riskerar att begränsa potentialen och även göra att olika former av stöd eventuellt kommer att behövas.

Utbildning av piloter och övrig kompetens i ekosystemet kommer också att vara kritiskt. Det är ett komplext ekosystem som behöver fungera och samverka kommer att vara en central faktor både för utökad testverksamhet samt för kommersiell implementering av eVTOL-trafik.

Elektromagnetiska störningar och kompatibilitet utgör en utmaning som kan försena all form av elektrifierad luftfart. Projektet har byggt betydande kunskap kring detta, identifierat fortsatta forskningsbehov på internationell nivå samt även inlett två uppföljningsprojekt som drivs under 2023.

## Summary

The project has aimed to increase the knowledge of future traffic with electric vertical take-off and landing aircraft, so-called eVTOL, through the design of a test route between Skellefteå Airport and Northvolt Ett. The project has also aimed to increase the knowledge of the electromagnetic disturbances that can occur when parts of air traffic are electrified. Through the work, the project has gained knowledge about what is required on the ground and in the airspace, as well as what the permit processes look like to make test operations work in practice. The project has also analyzed which costs can be incurred when starting commercial traffic, but also which costs are associated with test operations.

It can be stated that there are still no precise regulations regarding the ground infrastructure and there are several question marks regarding e.g. noise, safety and acceptance. This means that the users and public stakeholders, including municipalities, must be involved at an early stage in the development.

The project assesses that the airspace issues can be handled if the eVTOLs are flown with a pilot, which will be the case in the beginning. For autonomous operation, there is still no regulatory framework in place, while this is completely dependent on advanced sensors, radar, high-speed connection, positioning tools, etc. with extremely stable and powerful performance. The project has also shown that there are challenges around robustness in cold and harsh weather conditions and that it will be important to test and develop the ecosystem in real conditions.

When it comes to testing activities, there are no uniform or standardized permit processes, but each individual test project requires a specific permit. At the same time, the project has built knowledge and produced documentation regarding the current test route, which can be reused in future applications for tests.

The project has shown that eVTOL transport can be an energy-efficient and time-competitive mode of transport for both private, public and socially beneficial transport. However, initial traffic will be expensive, which risks limiting the potential and also means that various forms of support will eventually be needed.

Training of pilots and other skills in the ecosystem will also be critical. It is a complex ecosystem that needs to work and collaboration will be a central factor both for expanded test operations as well as for commercial implementation of eVTOL traffic.

Electromagnetic interference and compatibility pose a challenge that could delay any form of electrified aviation. The project has built significant knowledge around this, identified continued research needs at an international level and also started two follow-up projects that will be run in 2023.

## Inledning/Bakgrund

eVTOL är ett transportalternativ som troligtvis kommer att bli en del av ett framtida hållbart mobilitetssystem. I Sverige finns ett stort behov av hållbara transporter för att öka tillgängligheten för både gods och människor. Här finns en stor glesbygd samt geografiska och demografiska utmaningar för transportsystemet. Det är dock ett antal år kvar innan eVTOL-transporter kommer att bli kommersiellt tillgängliga då det är ett komplext ekosystem som måste vara på plats. Ännu finns inte heller certifierade farkoster för kommersiellt bruk. Kunskapen kring hur eVTOL-trafik ska hanteras är fortfarande generellt sett låg och projektet har lyft ett antal frågeställningar som behöver hanteras. Projektet har byggt på dessa frågeställningar vilka har hanterats i ett antal arbetspaket.

Utvecklingsprogrammet Elektrifierad Luftfart i Sverige (ELIS) startade i Skellefteå 2020. Det bygger på att det finns ett stort transportbehov i regionen, en bred kompetens inom elektrifierings- och energiområdet, tomt luftrum, tillgång till grön el samt förutsättningar för test och utveckling i kallt och tufft klimat. Utöver detta finns andra förutsättningar i Skellefteå i form av investeringar som gjorts i infrastruktur på flygplatsen där 1 MW energiförsörjning finns dedikerad för elflygplan och eVTOL. Luleå Tekniska Universitet bedriver även forskning inom flera av de områden som kommer att vara viktiga för utvecklingen av eVTOL-trafik.

I dagsläget pågår ett stort antal projekt på global nivå för utveckling av teknologi kopplat till farkoster, laddning, infrastruktur och luftrumsfrågor. Dessa projekt bedrivs relativt ofta separat men för att snabba på en implementering av elektrisk luftfart och eVTOL behövs även hållbara affärsmodeller, finansieringslösningar, infrastruktur för service och underhåll, forskning kring elektromagnetisk kompatibilitet m.m. Det behövs även ett systemtänk för att förstå hur samspelet med andra transportslag ska se ut samt hur resenärprocessen ska hanteras.

Tester i kallt och tufft klimat är en viktig del för att säkerställa funktionaliteten och säkerheten hos eVTOL-farkosterna. Dessutom behöver testning av samtliga delar i värdekedjan präglas av ett systemtänk och testas i ett sammanhållet system då det finns utmaningar i alla led.

Utmaningarna består delvis av regleringen av luftrummet vilket ännu inte är konstruerat för storskalig trafik med den här typen av farkoster. Samtidigt som det finns ett stort behov av fossilfritt flyg där eVTOL är en del så finns det även stora utmaningar och frågetecken i hur energisystemet kommer att hantera och anpassas för elflyg. Projektet RES-flyg, som ELIS och Skellefteå Airport medverkar i, utreder och kartlägger hur laddning av elflyg kan komma att se ut samt vilket elbehov som finns kopplat till elflyg. Utveckling av grön vätgas och vätgasdrivna flyg ställer också krav på möjligheterna till produktion, lagring och tankinfrastruktur för grön vätgas.

Projektet har även utrett vilka elektromagnetiska störningar som uppstår i samband med laddning och drift av elflyg och eVTOL för att se hur de kan

påverka flygplatsmiljön och hur de förhåller sig till de krav för elektromagnetisk emission som idag finns på flygplatsen.

Ett av målen med projektet har varit att upprätta en teststräcka för eVTOL i verkliga förhållande samt även att planera och utföra riktiga testflygningar på sträckan med en stor vingdrönare. Detta har ökat förståelsen över vad som krävs för att bedriva testverksamhet samt givit indikationer gällande kostnader, infrastrukturbehov, ansökningsprocedurer för tillstånd m.m. I projektet har även affärsmodeller för persontransport med eVTOL undersökts och har gett en bild av hur den här typen av transport till en början kan komma att användas samt vad det kan komma att kosta.

I dagsläget ges en överlag relativt optimistisk bild över det framtida användandet av eVTOL. Projektets resultat tyder på att de initiala transporterna med stor sannolikhet blir dyrare än vad en del andra prognoser visar och att en smidig resenärsprocess kommer att vara central för att skapa en attraktiv tjänst. Att utvecklingen av farkoster, markinfrastruktur och affärsmodeller går hand i hand är centralt liksom att kommuner och övriga intressenter är involverade på ett tidigt stadium. Det här projektet har bidragit till att flytta fram kunskapsnivån på flera olika plan vad gäller utveckling och implementering av eVTOL-trafik i Sverige. En hel del fokus har legat på kunskapsspridning för att öka medvetandegraden i samhället gällandet eVTOL-transporter och hur det kommer att påverka bl.a. stads- och samhällsplaneringen.

Projektparter har varit Skellefteå City Airport (projektägare), Skellefteå Kraft, Northvolt, ACR och LTU. Skellefteå City Airport, Skellefteå Kraft, Northvolt och ACR har varit medfinansierare. Projektet har pågått perioden 2021-07-01 – 2022-12-31.

## **Genomförande**

### **AP 1 Markinfrastruktur**

I AP1 har fokus varit att utreda markinfrastrukturfrågor kopplat till teststräckan mellan Northvolt Ett och Skellefteå Airport. De frågor som undersöktes till en början utgick från ett brett perspektiv då det ännu var oklart om ytorna på respektive plats skulle hanteras som tillfälliga för testverksamhet eller i en förlängning som fasta installationer för kommersiell trafik. Under resultatavsnittet redogörs för den kunskap och process som handlar om att planera och skapa infrastruktur för testverksamhet. I planeringen av testflygningarna fick projektet möjlighet att rent praktiskt fördjupa sig i vilka krav som finns på markinfrastrukturen. Resultatavsnittet innehåller även en analys av vad som krävs

för att möjliggöra kommersiell trafik. En del av de frågorna hanteras även i avsnittet som handlar om business case för kommersiell trafik.

Arbetet har genomförts genom att respektive part tagit ansvar för frågor relaterade till sina expertisområden. Under arbetet har kontinuerliga avstämningsmöten samt workshops ordnats där arbetet samordnats med aktiviteter i övriga arbetspaket.

Nedan är några av de områden som berörts i arbetet:

- Behov av yta, bärighet och avrinning
- Laddning
- Hangarer och övriga serviceutrymmen
- Säkerhet, access, hinderfrihet m.m.

De som primärt varit involverade i detta arbetspaket har varit Skellefteå Airport och Northvolt men även ACR till viss del.

## **AP 2 Luftrumsfrågor och tillståndsfrågor**

Arbetet i AP2 har handlat om att kartlägga och analysera de luftrumsfrågor och tillstånd som är nödvändiga för att kunna genomföra flygningar med eVTOL på en sträcka mellan Skellefteå Airport och Northvolt Ett. I inledningen var tanken att även titta på luftrumskorridorer mellan Northvolt Ett och Skellefteå Hamn. Det initiala arbetet visade dock att metodiken skulle likna den mellan Skellefteå Airport och Northvolt Ett varför arbetet fokuserats på denna sträcka. Den kunskap och de metoder som projektet tagit fram går sedan att ta med till andra sträckor framöver om det skulle vara aktuellt.

Det bestämdes i inledningen av projektet att testflygningar skulle genomföras under hösten 2022. Detta för att få möjlighet att utreda luftrums- och tillståndsfrågor på ett realistiskt sätt samt säkerställa den typ av tillstånd som krävs för att bedriva testflygningar på den aktuella sträckan. Det innebar planering av flygningarna mellan operatör, flygplats, flygtrafikledning, Transportstyrelsen, Northvolt m.fl. Det innebar även skarpa ansökningar om tillstånd. Vidare innebar testflygningarna ett antal övriga möjligheter att verifiera en mängd parametrar på den aktuella sträckan. Testflygningarna beskrivs mer i detalj i avsnitten “Resultat” och “Diskussion” nedan.

Arbetet i övrigt har bedrivits i form av möten, workshops och internt arbete hos respektive aktör för att hantera olika frågeställningar.



Arbetet i arbetspaketet har drivits av Skellefteå Airport i form av projektägare och fysisk plats för start och landning. Medverkande parter har varit ACR i form av leverantör av flygtrafikledningstjänster vid Skellefteå Airport och omgivande luftrum samt i form av allmän kompetens kring luftrumsdesign. ACR var även en central part i planeringen och genomförandet av testflygningarna. Detta speciellt som testflygningarna genomfördes samtidigt som övrig flygtrafik bedrevs som vanligt vid flygplatsen. Detta adderade betydande komplexitet men var ett medvetet val för att öka realismen i genomförande. Katla Aero har varit en aktiv part i form av utförare av testflygningarna med hjälp av sin vingdrönare. Som operatör var det även Katla Aero som ansvarade för de huvudsakliga ansökningarna och tillstånden gentemot Transportstyrelsen. Katla Aeros vingdrönare mäter 2,5 meter i vingbredd och är en av de största drönare som går att flyga med i dagsläget. Detta innebar möjligheter att delvis simulera hur flygningar med en större eVTOL skulle kunna se ut. Samtidigt var den aktuella drönaren så pass liten och lätt att tillståndsprocessen kunde genomföras med hjälp av ett enklare regelverk. Vid större farkoster krävs en mer omfattande tillståndsprocess vilket beskrivs i avsnittet "Resultat". Även Northvolt har varit delaktiga i arbetspaketet för att planera in- och utflygningsvägar m.m. samt säkerhetsfrågor vid landningsplatsen på Northvolt Ett.

### **AP 3 Framtagande av business case för nyttjande**

Arbetet har genomförts genom en omfattande litteraturstudie av relevanta artiklar och publikationer från både forskare och kommersiella aktörer verksamma inom elektrifierad luftfart. Utöver detta har betydande egna analyser gjorts, bl.a. tillsammans med olika branschaktörer som dock önskat att vara anonyma.

För att bättre först hur en integrering av eVTOL skulle fungera i Skellefteåregionen samt på liknande platser i Sverige har sex hypotetiska platser valts ut för att visa restiden mellan dessa platser via land eller luft.

De sex platserna valdes ut med ambitionen att hitta olika typer av behov av resa exempelvis affärsresa, pendling eller nöjesresa. Det syftade även till att bättre förstå de utmaningar som finns när det gäller att etablera start- och landningsmöjligheter på olika sträckor.

En sammanställning har gjorts kring olika affärsmodeller för både eVTOL och vertiports. Projektet har kartlagt de kostnader som kan antas uppstå vid etablering av eVTOL-trafik med två farkoster vilket har antagits vara en rimlig nivå initialt beroende på höga kapitalkostnader och stor risk då bl.a. efterfrågan är okänd.



Baserat på ett antal antaganden om flygsträckor, kapacitet, flygtimmar, snittpris per passagerarkilometer m.m. har projektet fått fram indikativa biljettpriser för initial trafik. Tillsammans med kostnadskalkylen har projektet fått fram indikativa intäktsnivåer för att nå break even.

Av projektparterna är det primärt Skellefteå Airport och Skellefteå Kraft som medverkat.

#### **AP 4 Elektromagnetisk interferens från laddningssystem för eldrivna luftfartyg med utgångspunkt i eVTOL**

AP4 har arbetat med frågor runt elektromagnetisk interferens (EMI) samt kompatibilitet (EMC) för elektriska flygplan och laddare. Inom arbetspaketet har forskare, tekniker och studenter genomfört litteraturstudier, mätningar samt spridit information och skapat nya nätverk. Utifrån genomförda aktiviteter har interna rapporter skrivits, ett vetenskapligt papper förberetts, samt ett beviljat och ett ansökt projekt skapats. Genomförandet beskrivs vidare i sektionerna nedan.

##### **Personella resurser**

AP4 har genom projektet letts av en senior forskare i ämnet Elektronikkonstruktion. Denne har tagit del i planerandet och genomförandet av alla aktiviteter. Han har fungerat som kontaktlänk mot det överliggande projektet samt arbetet med spridning och framtid för området. En postdoktor har genom projektet arbetat med litteraturstudier, tekniska genomgångar, samt planering och genomförande av mätningar. Forskningsingenjör samt tekniker har engagerats under förberedande, genomförande, samt efterarbete vid mätningar. Inom projektet har ett slutprojekt genomförts av en student inom ramen för utbytesstudier, och ett examensarbete har utförts i samarbete med ett parallellt projekt.

##### **Litteraturstudier och regelverk**

En del av AP4 har syftat till att skapa samlad förståelse för de regelverk, normer och procedurer som är applicerbara för hantering av elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) för elektriska flygplan och laddare. I syfte att skapa denna förståelse har omfattande litteraturstudier genomförts. Dessa har innefattat sökningar på det öppna internet, studier av publikationer inom området, samt inläsning i gällande regelverk samt standarder. Arbetet har genomförts som fördjupande arbete för studenter, samt också genom engagemang av den i projektet deltagande postdoc och av AP4 ansvarig. Utifrån den kunskap som har inhämtats i dessa studier har kontakt också haft med intressenter inom området för att ta del av deras kunskap. Detta innefattar bland andra Swedavia, Luftfartsverket, Skellefteå flygplats, Örnsköldsvik flygplats, och ib vogt AB.

Kontaktarna har utöver fördjupad insyn i området skapat helt nya nätverk samt möjligheter att bygga vidare på projektet.

### Mätningar

I syfte att skapa en förståelse för vilken elektromagnetisk emission som skapas av elektriska flygplan samt deras laddare i en verklig miljö har mätningar utförts vid Skellefteå flygplats. Mätningarna utfördes vid två tillfällen under projektet, den 18:e maj samt den 28:e oktober 2022. Vid båda mätningarna har utstrålad emission uppmätts i frekvensområden från 10 kHz till 1 GHz. Under det andra mättillfället uppmättes även ledningsbunden emission i frekvensområdet 2 till 150 kHz.

### Utstrålad emission

För mätning av utstrålad emission samt förberedande kalibrering nyttjades utrustning enligt nedan.

**Utrustning använd för mätning av utstrålad elektromagnetisk emission.**

Enhet	Tillverkare	Modell	Frekvensband
EMI test receiver	Rohde & Schwarz	ESPI7	9 kHz -- 7 GHz
LoopAntenna	EMCO	6512	10 kHz -- 30 MHz
LoopAntenna	EMCO	7604	20 Hz -- 500 kHz
BiLogAntenna	Chase	CBL6112	30 MHz -- 2 GHz
HyperLogAntenna	Acconia	30180	400MHz -- 12 GHz
Cable 3,5 m	Salies	CSU790AA	DC -- 19,7 GHz
Emission reference source	Laplace Instruments LTD	ERS-A	30 MHz -- 1 GHz
Emission reference source	York EMC Service	CGE01	1 GHz -- 18 GHz

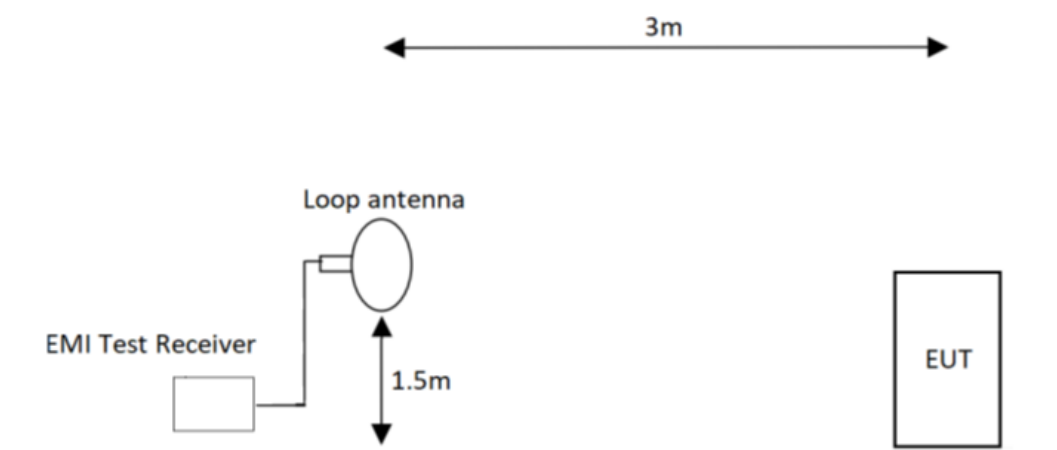
Mätningar av utstrålad emission i frekvensområdet 30 - 1000 MHz genomfördes med referens till EN55032:2015. Denna sätter samma emissionsgränser som refereras i EN 61000-6-3:2006 vilken hänvisas till från Luftfartsverket avseende EMC i flygplatsmiljö. Båda ovanstående normer hänvisas också i Swedavias Airport regulation för Arlanda flygplats<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Stockholm Arlanda Airport Airport Regulation, G-08-2013, <https://www.swedavia.net/airport/arlanda/start/airport-regulations>, visited 2023-02-16

Inför mätningarna genomfördes kalibrering av mätutrustningen i syfte att uppnå rättvisande mätdata vid mätningar utomhus. Kalibreringen genomfördes utomhus med hjälp av en känd emissionsreferens placerad på de avstånd från uppställd mätutrustning som sedermera användes på flygplatsen.

Mätningar på flygplatsen genomfördes med avseende på laddare, flygmaskin, samt kablage i ett flertal olika laddnings- och driftsförhållanden. Dessa inkluderade laddning vid olika laddningsnivåer samt drift av flygplanets motor under olika effektuttag. Uppställning för mätningarna utfördes i huvudsak normenligt enligt nedan beskrivna uppställningar. Utöver detta har också utförts mätningar i andra positioner och förutsättningar, gjorda i undersökande syfte. Till största delen innefattar dessa mätningar att antenner har placerats på närmare avstånd i syfte att försöka identifiera bidrag från enskilda komponenter i systemet.

Mätningar i frekvensområdet 10 kHz – 30 MHz genomfördes som magnetfältsmätningar med loopantenn, uppställning huvudsakligen enligt figur nedan. Detta frekvensområde regleras inte avseende utstrålad emission i de av LFV samt Swedavia refererade standarderna. I syfte att skapa en referenslinje för genomförda mätningar användes här refererade gränsvärden enligt Tabell 2.



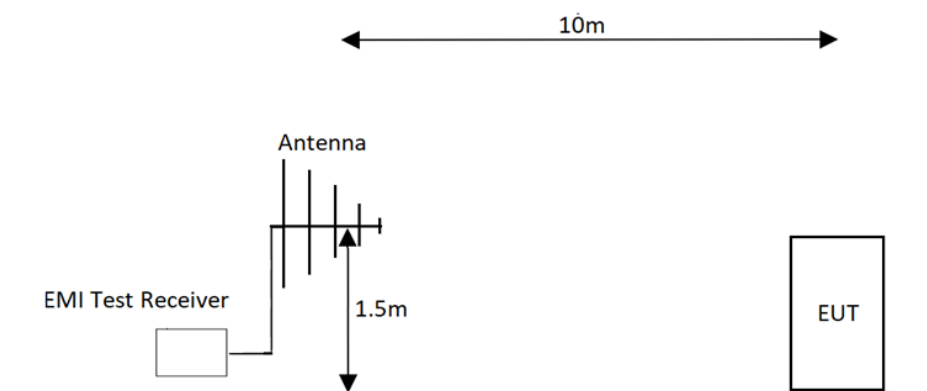
**Uppställning för mätning av magnetfält.**

**Gränsvärden enligt CISPR 11: 1997 + A1: 1999.**

Frequency Range (MHz)	Quasi-peak (dB $\mu$ A/m)
0.009-0.07	69
0.07-0.15	69 Decreasing linearly with logarithm of frequency to 39

0.15-2.2	39 Decreasing linearly with logarithm of frequency to 3
2.2-30	3

Mätning av utstrålad emission utfördes med bilog antenn uppställd huvudsakligen enligt figur och med gränsvärden enligt nedan.



Uppställning för mätning av emission i frekvensområdet 30 MHz till 1 GHz.

Gränsvärden i EN 61000-6-3:2006.

Frequency Range (MHz)	Quasi-peak (dB $\mu$ V/m)
30-230	30
230-1000	37

### Ledningsbunden emission

Mätningar av ledningsbunden emission genomfördes med en PQ-Box 300 nätanalysator. Denna anslöts på sekundärsidan av den transformator vilken matar de trefasuttag som nyttjas för att koppla in de mobila laddningsaggregat som används för att ladda elflygplanen. Kompatibilitetsnivåer för frekvensområdet 2 till 170 kHz återfinns i standarden IEC 61000-2-2 appendix 1 och 2 gällande spänning i lågspänningsnät.

## **AP 5 Projektledning, projektadministration och kommunikation**

Arbetspaketet har bl.a. hanterat projektledning, projektadministration och kommunikation. Nedan redogörs för de aktiviteter som handlat om att kommunicera projektet.

### **Spridning och kontaktskapande aktiviteter**

ELIS utvecklingsprogram har fått stor uppmärksamhet både nationellt och internationellt. Ett genomgående tema för ELIS-programmet är ett praktiskt genomförande för att komma framåt i utvecklingen med elektrifierad luftfart.

Projektet med teststräckan mellan Skellefteå Airport och Northvolt Ett har varit ett flaggskeppsprojekt för programmet då det dels går i linje med ett praktiskt genomförande, dels att det har bidragit till en del av testbädden som är i uppbyggnad genom utvecklingsprogrammet. Projektet har därför fått stort utrymme i all kommunikation runt ELIS. Kommunikation har utförts både i fysiska sammanhang och online. Nedan följer i korthet en redogörelse för några av de tillfällen där projektet har presenterats.

### **Representation på seminarier, konferenser och liknande**

21-10-14 (tre dagar). Medverkan på Air Taxi World Congress i London. Tredagarskonferens helt fokuserad på eVTOL-trafik vilket betydde viktig kunskap och kontakter tidigt i projektet.

21-10-26 MACE. Medverkan på digital konferens på Malta om Regional Air Mobility och eldriven luftfart och dess utvecklingspotential.

22-05-03 (två dagar) KDT kick-off. European Technology Platform on Smart Systems Integration, EPoSS, höll en kick-off för Key Digital Technologies Joint Undertaking (KDT-JU) i Bryssel. Vid detta event deltog LTU och presenterade utifrån AP4 projektförslaget EFDRA, Electric Flight Development and Research Arena.

2022-05-20 Seminarium Innovate UK. Ansvariga för ELIS anordnade ett seminarium i samband med ett besök i Skellefteå från Storbritanniens innovationsmyndighet, Innovate UK. Där presenterades pågående arbete, inklusive eVTOL-projektet, för 16 företag från Storbritannien verksamma inom området hållbart flyg.

2022-06-02 Energy ConFusion – eVTOL-projektet samt ELIS presenterades vid Energy ConFusion i Skellefteå. Konferensen arrangeras årligen i norra Sverige,

och bygger på publikdrivna diskussioner om elektrifiering och smarta energilösningar som möjliggör den gröna omställningen.

2022-06-08 Projektet RES-flyg – Skellefteå Airport deltog i projektet RES-flyg som arbetat med energiförsörjning på flygplatser med hög andel framtida elflyg. Ansvarig för ELIS deltog vid ett besök i Skellefteå av RES-flyg och informerade om pågående arbete. Deltagare var bland andra Uppsala Universitet, Swedavia och RISE.

22-08-18 Techvisit – Hamina-Kotka (Finsk region) & Business Finland besöker Skellefteå och där bland annat eVTOL-projektet presenteras.

22-09-20 (två dagar) FAIR & NBBL slutkonferens – Konferens där FAIR (Finding innovations to Accelerate the Implementation of electric Regional aviation) samt NNBL (Nordic Battery Belt Logistics) presenterades. eVTOL-projektet presenterade i Saras Kulturhus samt på plats på Skellefteå Airport där testflygningar på teststräckan pågick under den aktuella veckan.

22-09-27 Invigningsvecka Skellefteå Science Park – Frukostseminarium med fokus på elflyg där ELIS och eVTOL-projektet redovisas av Programledare ELIS, Henrik Littorin samt flygplatschef Robert Lindberg.

22-09-24 Hållbarhetsveckan i Skellefteå. ELIS och eVTOL-projektet presenteras av Skellefteå Science City som även anordnade en tävling om elflygssatsningen i Skellefteå.

22-09-28 TBB Lissabon – ELIS representanter närvarande på EIT InnoEnergy The Business Booster i Lissabon, Portugal.

2022-09-30 Forskarfredag i Skellefteå. Representanter för AP4 deltog med en kort föreläsning i Forskarfredag i Skellefteå. Forskarfredag ger gymnasieelever en inblick i aktuell och pågående forskning inom olika områden.

22-11-14 Luleå Tekniska Universitets Innovationsdag i Luleå – Skellefteå presenterar Arctic Center of Energy och ELIS där eVTOL projektet lyfts.

22-11-14 Techvisit – Teknikcollege Gotland besöker Skellefteå. ELIS och eVTOL-projektet presenteras.

2022-11-15 SPGA testbranschråd – Bilttestverksamheten i norra Sverige samlas inom Swedish Proving Ground Association (SPGA). Representanter för AP4 deltog i deras testbranschråd i syfte att synliggöra projektet samt att möjliggöra kopplingar mot den väletablerade bilttestverksamheten.

22-11-15 Techvisit Mariestads kommun besöker Skellefteå. ELIS och eVTOL-projektet presenteras.

22-11-17 Green Connections – Digital konferens arrangerad av Svensk-Amerikanska Handelskammaren i San Diego där ELIS programchef bl.a. presenterade eVTOL-projektet.

22-11-22 Techvisit – Luleå Energi besöker Skellefteå där ELIS och eVTOL-projektet presenteras.

2022-11-30 Seminarium RIFO – Elflyg - från innovation till kommersialisering. Ansvarig för AP4 deltog i ett seminarium anordnat inom ramen för RIFO, ett nätverk mellan riksdagsledamöter och forskare som arbetar för att riksdagens beslut ska ta sin grund i forskningen.

2022-12-14 Studieresa till Groningen i Nederländerna inom projektet Grön Flygplats. Projektet presenteras för deltagarna under ett seminarium vid besöket.

23-01-13 Energimyndighetens slutseminarier för utlysningen Fossilfritt flyg 2045. e-VTOL-projektet presenteras.

23-01-25 Västerbottendagarna på Grand, North Sweden Cleantech. ELIS och eVTOL-projektet presenteras vid seminarium.

23-02-02 The future of Aviation. ELIS medverkade på nätverksaktivitet i Köln på inbjudan från Svenska Ambassaden och Business Sweden. eVTOL-projektet presenterades och har medfört uppföljande kontakter med en utvecklare av eVTOL samt ett forskningsinstitut.

23-02-03 Södertälje Science Week – Skellefteå Science City presenterar: Framtidens gröna energilösningar där ELIS och eVTOL-projektet lyfts.

23-02-15 Slutseminarium där projektet presenterades i detalj. Både medverkan på plats i Skellefteå och digitalt via Teams. Ca 70 deltagare från Sverige och utlandet.

Utöver detta har projektet presenterats för ledningen hos bl.a. IVL och VTI vid besök i Skellefteå. Även ett antal ambassadörer och ambassader har besökt Skellefteå Airport och då fått en presentation av projektet.

## **Media**

2022-02-22 *Intervju Vetenskapsradion*. Ansvarig för AP4 deltog i en intervju i Vetenskapsradion i Sveriges Radio. Inslaget berättade om den satsning som görs vid Skellefteå flygplats avseende elflyg och berörde den forskning som genomförts inom AP4.

2022-12-09 *Intervju för webbtidningen Ingenjören*. Tidningen ingenjören intervjuade den ansvarig för AP4 med anledning av de aktiviteter som genomförs inom projektet. Intervjun publicerades i början av 2023.

*Tekniska rapporter*. Två stycken tekniska rapporter har publicerats i LTUs publika publikationsdatabas Pure. Rapporterna ger sammanställningar över utvecklingsläget på elektriska flygplan och laddningssystem samt över aktuella regelverk och normer för EMC.



*Konferenspublikation.* Ett utkast till konferenspublikation har sammanställts, med avsedd publicering vid konferensen EMC Europe 2023. Publikationen sammanfattar mätningarna av utstrålad emission som genomförts vid Skellefteå flygplats.

Utöver detta har det skett ett stort antal övriga publiceringar i media som berört detta projekt. Länkar till dessa finns samlat på:

<https://elisprogram.com/about/press/>

### **Representation online och i sociala medier**

ELIS-programmet har en hemsida [www.elisprogram.com](http://www.elisprogram.com) där projektet beskrivs. På hemsidan kommer även slutrapporten att publiceras samt filmen som beskriver projektet.

North Sweden Cleantech - Regional innovation and export platform har publicerat nyheter och spridit information om event via sin hemsida.

En film om projektet har producerats i samband med testflygningarna i september 2022. Filmen har ännu inte publicerats då spridningstillstånd är under handläggning hos Lantmäteriet.

## **Resultat**

Sammanställning av resultat och kunskap från samtliga arbetspaket.

### **AP 1 Markinfrastruktur**

Resultatbeskrivningen nedan utgår både från ett allmänt arbete kring vad som krävs avseende markinfrastruktur samt ett mer specifikt resonemang som bygger på det arbete och de erfarenheter som genererats i samband med de testflygningar som genomfördes under projektet.

#### **Generella resultat**

Det internationella regelverket FATO (Final Approach and Takeoff) för helikopterflygning har delvis använts som referens och givit viss input, exempelvis om vilken yta som behövs. Under projektets gång publicerade även den europeiska flygsäkerhetsmyndigheten EASA riktlinjer avseende start- och landningsytor för eVTOL, hinderfrihet m.m.

<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/prototype-technical-design-specifications-vertiports>.

Baserat på detta har projektet kunna kartlägga utmaningar och möjligheter för markinfrastruktur i olika fysiska miljöer. En del av resonemangen avseende kostnader m.m. för markinfrastruktur återfinns i resultatet i AP3.

På flygplatser finns ofta gott om yta som är tillräckligt för att uppfylla kraven på hinderfrihet, bärighet m.m. Miniminivån för själva start- och landningsplatsen bör vara minst 15x15m men kan med fördel vara något större. Flera av de eVTOLs som är under utveckling har vingar och är upp till 15 meter breda. Detta innebär att de är stora farkoster som kommer att behöva relativt stora utrymmen på marken. Detta beror även på att det kommer att krävas fritt utrymme för passagerarhantering vid på- och avstigning, laddning, enkare översyner m.m. I vissa lägen kan det vara relevant att flytta fordonet från start- och landningsplattan men i vissa fall kan det vara mer effektivt att låta fordonet stå kvar vilket kan innebära större ytbehov. Vikten på de större modellerna kommer att uppgå till några ton och behov av bärighet, avrinning, belysning m.m. finns specificerat i EASA:s riktlinjer. Däremot kommer det i kallare klimat att krävas snöröjning, avisning m.m. Här har detta projekt lett till en förstudie om klimatsäkring av mobilitetshubbar (inklusive vertiports) då projektet kunnat se att kunskap och dimensionering kring detta inte finns tillräckligt väl beskrivet.

*Laddning* – På flera flygplatser finns tillräckligt elförsörjning för att kunna snabbbladda en eller ett par eVTOLs samtidigt. Projektet har utgått från ett maximalt laddbehov motsvarande 350 kW snabbbladdare finns redan 1 MWH installerad med tre laddstolpar för elflyg. Det blev inte aktuellt att installera en laddstation på Northvolt eftersom att det var tillräckligt med att drönaren som flögs under testflygningen laddades på flygplatsen. Mer om testflygningarna i avsnittet resultat och diskussion nedan.

*Hangarer och serviceutrymmen* – Det kommer att finnas ett generellt behov av inomhusutrymmen. Hur dessa ska utformas kommer troligtvis att bero på en stor mängd faktorer. Dels kommer eVTOLs att ha olika utformning och dimensioner vilket kommer att ställa olika krav på ytor. Vissa eVTOLs kommer att ha vingbredd upp mot 15 meter och vara flera meter höga vilket kommer att ställa krav på relativt stora hangar- och serviceutrymmen. Detta innebär att projektet landat i att det mest troliga är att eVTOLs får specifika baser för förvaring över natten och för löpande underhåll. Dessa kan t.ex. vara lämpligt att placera på flygplatser då det finns ytot för hangarer samt tillång till verkstäder. Viss service- och underhållskompetens bör även gå att samordna med annan flygverksamhet för att minska kostnaderna. Samtidigt kommer detta i flera fall att innebära

tomflygningar vilket behöver tas med i kalkylen. För att begränsa kostnader och komplexitet så är bedömningen att eVTOL-operationer utanför storstadsområden kommer att hanteras via en huvudbas, några större vertiports med snabblandning och koppling till övriga transportslag samt ett antal enklare vertistops med minimal markinfrastruktur. Eftersom varje användarfall kommer att vara unikt kommer det att krävas en markinfrastruktur som optimeras utifrån lokala förutsättningar.

*Säkerhet, access, hinderfrihet m.m.* – Det är i dagsläget oklart vilka säkerhetskrav som kommer att finnas kring kommersiella eVTOL-transporter avseende t.ex. säkerhetskontroll, säkerhetsgenomgång, dokumentkontroll m.m. Projektet har kommit fram till att hantering på landside troligtvis är det rimligaste stället i flygplatsmiljön. Detta då eVTOL-transporten blir en transferlösning som ska likställas med taxi, buss, tåg, hyrbil eller liknande. EASA har tagit fram riktlinjer kring hinderfrihet i olika miljöer. Dessa riktlinjer är relativt enkla och konkreta att förhålla sig till vid planering av markinfrastruktur men krav från utvecklare av farkoster och vertiports är ännu så länge svårt att förhålla sig till då utvecklingen fortfarande är i ett tidigt skede.

Det finns ännu så länge inte heller några exakta riktlinjer kring brand- och incidentberedskap, räddningstjänstbehov m.m. Detta kan innebära betydande kostnader och kräva nya typer av utbildningar, utrustning och procedurer. Det är även en fråga som projektet har identifierat som viktig att arbeta vidare med på ett tidigt stadium.

*Markinfrastruktur på olika platser* - projektet har översiktligt undersökt förutsättningarna kring markinfrastrukturen beroende på placering. En del av dessa slutsatser återfinns i AP3. Generellt kan sägas att förutsättningarna kring markinfrastrukturen på flygplatser är god med gott om ytor, tillräcklig elförsörjning, rådighet över byggnation, låg störningsgrad avseende buller och säkerhet m.m. Vid byggnation på mark i andra miljöer blir framförallt frågor om bygglov, detaljplaner, bygglov, bärighet, buller och hinderfrihet aktuella. Byggnation på befintliga eller nya byggnader innebär ett antal utmaningar som framförallt leder till fördyringar. Det handlar om bärighet då det är ett stort antal ton som ska bäras upp. Vidare krävs passagerarprocesser och passagerarhantering med hissar, väntutrymmen m.m. inuti byggnader liksom säkerhetsrelaterade frågor kring brand- och räddningstjänst kopplade till snabblandning med hög effekt, incidentberedskap m.m. I tätare bebyggelse uppstår även större utmaningar kring turbulens runt byggnader, buller m.m. Det finns samtidigt fördelar med att få upp eVTOL-trafiken på taket ovanför övriga transportslag. Dock riskerar dessa lösningar att bli dyra jämfört med den kapacitet systemet kan hantera initialt. Även mjukare frågor om acceptans hos allmänheten behöver utredas mer och

projektet har identifierat detta som en viktig fråga att ha med tidigt i utvecklingen av eVTOL-trafik.

### **Markinfrastruktur vid testflygningarna - resultat och slutsatser**

På flygplatsen finns gott om yta som visade sig vara mer än tillräcklig för de tester som utfördes. Vid Northvolt Ett, som i dagsläget till stor del är en stor byggarbetsplats som förändras hela tiden, var det svårt att långt i förväg identifiera en exakt start- och landningsyta. Den landningsyta som användes vid Northvolt vid testflygningarna var drygt 15x15 meter stor och var en del av en grusad parkeringsyta som spärrades av och hägnades in under testflygningarna. Landningsplatsen var tillräcklig utifrån det aktuella tillståndet för att flyga med den aktuella vingdrönaren från Katla Aero. Vid större farkoster behövs en asfalterad yta och ett större avgränsat område. Uppskattningsvis en start- och landningsplatta på minimum 15x15 meter samt en avspärrad yta på ca 30x30 meter. Detta beror dock på det aktuella tillståndet för den enskilda testflygningen och vilken farkost som används.

*Laddning* – På flygplatsen finns redan 1 MW installerad med fyra laddstolpar för elflyg. Det var inte aktuellt att förbereda laddmöjlighet på Northvolt eftersom det helt enkelt inte behövdes. Kapaciteten i den aktuella drönaren var mer än tillräcklig för att flyga fram och tillbaka och som alternativ hade det gått att skifta batteri vid Northvolt.

*Hangarer och serviceutrymmen* – Det fanns ingen hangar eller större väderskydd tillgängligt på varken flygplatsen eller Northvolt. På flygplatsen fanns ett ca 6 kvm serviceutrymme tillgängligt i anslutning till start- och landningsplatsen.

Det hade behövts större inomhusutrymmen då det var många och långa uppehåll mellan själva flygningarna. Det handlade bl.a. om förberedelser, tekniskt underhåll, kalibreringar och laddning. Vid testflygningarna var vädret fint. Hade vädret varit sämre med t.ex. kyla, blåst eller regn hade det krävts inomhusutrymmen för både personal och utrustning. Det handlar bl.a. om känslig kringutrustning som bör kunna förvaras inomhus. Även batterierna mår bäst i vissa specifika temperaturer. Bäst förutsättningar på plats ges om det finns tillgång till trådbunden fiberanslutning då detta ger en mer tillförlitlig kommunikationslänk.

För en större eVTOL handlar behoven vid tester uppskattningsvis om en mindre uppvärmd hangar med minst 12 meter öppningsbara portar och ett antal meter i

takhöjd. På Skellefteå Airport finns verkstäder som kan nyttjas av testande aktörer för enklare reparationer och underhåll.

*Säkerhet, access, hinderfrihet m.m.* - Ett tillfälligt staket uppfördes på Northvolt för att avskärma området. Det var dock otillräckligt för att hålla obehöriga ute och det krävdes personal som vaktade området i samband med flygningarna. Under testflygningarna var det dessutom alltid någon från testteamet närvarande med uppsikt uppsikt på marken och i luften. Northvolt är en föränderlig plats p g a byggnation; stora byggnader och kranar kan dyka upp med kort varsel. Flera personer och fordon är i rörelse på området vilket behöver tas i beaktande vid planering och genomförande.

På flygplatsen utfördes aktiviteterna på airside, dvs den säkerhetsklassade delen av flygplatsen. Det innebar att det krävdes besöksbehörighetshandlingar för testteam och dess fordon samt ledsagning av någon från flygplatsen under hela tiden soom testpersonalen befann sig på airside. Detta var resurskrävande och logistiskt utmanande. Samtidigt finns fördelar med att vara på airside då det är en till ytan stor, säker och avgränsad miljö med tydliga regler och riktlinjer. Dessutom har start- och landningsytan på flygplatsen god synlighet från tornet och ytan ger god uppsikt över vad som sker på flygplatsområdet. Frågan om access till airside vid längre testperioder går att lösa med behötighetshandlingar. Detta är dock en separat process med vissa utmaningar. Vid kortare testprojekt kommer det troligtvis att krävas någon form av lokal ledsagning.

Utifrån praxis beräknades att förhållandet mellan ett hinders höjd över marken och drönarens avstånd till det ska vara max 1:1, en 10 meter hög byggnad ska alltså vara minst 10 meter från drönaren. Detta för att undvika turbulens och ge en buffert mellan drönaren och hindret. Detta kan dock variera beroende på farkost m.m.

Inför testflygningar är det att rekommendera att simulering av ruten innan flygning görs. Detta ger insikter som är bra att ha redan tidigt i ansökningsarbetet. I simuleringen testas även BVLOS-failsafes.

*Brand, räddningstjänst m.m.* - Vid de aktuella testflygningarna gjordes en Emergency response plan (ERP) på mediumnivå, vilket inte krävde koordinering i högre grad med räddningstjänst etc. För att uppnå en hög nivå av ERP behöver en sådan koordinering göras mer ingående och fysiska övningar genomföras. Om det på förhand finns inövade förfaranden hos lokala aktörer borde dessa kunna anpassas efter den aktuella farkosten och sträckan vilket kan minska tidsåtgången för att få en ERP på nivå hög. Detta bör tas upp tidigt i samband med planering av



De eVTOLs som har pilot flygs i princip med samma typ av kommunikationsutrustning som mindre flygplan/helikoptrar. Det innebär att de har transponder och radiokommunikation och kan hanteras som dagens flygplan och helikoptrar i luftrummet. I testfasen är det dock troligt att de flesta utvecklare av bl.a. säkerhetsskäl önskar flyga med markbaserad pilot. Detta innebär att det krävs annan typ av tillstånd och luftrumshantering.

Flertalet av de eVTOLs som är under utveckling verkar vara utrustade med ADS-B-transponder vilket innebär att de kan identifieras i luftrummet. Om det dock inte finns pilot ombord så kommer det att krävas separation och särskilda procedurer inom kontrollzon.

Övrigt navigationsutrustning hos eVTOLs påminner om drönare, dvs 4G/5G, LIDAR-sensorer, kameror, GPS m.m.

De eVTOLs som utgår från att kunna flyga autonomt från början är primärt mindre farkoster (2 passagerare). Dessa är troligtvis inte primärt de som kommer att användas i flygplatsmiljöer utan snarare mellan andra typer av noder. De kan dock tänkas vara intressanta ur test- och utvecklingshänseende. I de fallen hanteras i de i dagsläget under drönarkategorin "Specific" när det gäller tillstånd att flyga i Sverige.

I testsammanhang till och från flygplatsen kommer det med allra största sannolikhet att vara tillräckligt att erbjuda dedikerade slottar i dedikerade korridorer under tider som bestäms utifrån övrig trafik. Det är i dagsläget oklart vilka eventuella utvecklare som kommer att vara intresserade av att testa sin utrustning i Skellefteå och vilka krav de kommer att ställa. Samtidigt så finns möjligheten att sätta upp villkor, ramverk och krav på kommunikationsutrustning som utvecklarna måste kunna uppfylla för att kunna nyttja Skellefteå Airport och tänkta teststräckor som berör kontrollzonen. Detta behöver utreda vidare och helst i samverkan med utvecklare av farkoster och övrig utrustning.

### **Tillstånd**

En teststräcka eller en kommersiell sträcka med eVTOL till och från kontrollzon (vilket är fallet om man flyger till och från en flygplats) innebär i dagsläget olika tillstånd beroende på farkostens specifikation och hur man vill flyga. Det finns ett omfattande EU-regelverk, hanterat av EASA, vilket avgör vad som går att göra. Generellt kan man säga att det handlar om att kunna genomföra flygningarna på ett säkert sätt. I testsammanhang kan det vara aktuellt med flygning inom synhåll. Detta innebär enklare förfaranden då farkosten hela tiden är under uppsikt för



operatören. I detta projekt har vi dock utgått från att kunna skapa en teststräcka som går från A till B och utom synhåll. Detta för att möjliggöra flygningar som liknar verkliga förhållanden. Dessutom finns det redan i dagsläget önskemål från Northvolt om att kunna utveckla kommersiell trafik mellan Northvolt Ett och flygplatsen varför sträckan är ännu mer relevant som användarfall för detta projekt.

För att avgöra vilka tillstånd som behövs finns olika vägval beroende på farkostens specifikationer. Projektet utgick i det skarpa arbetet från den största vingdrönare som finns att tillgå i form av Katla Aeros farkost. Denna kvalar in under en något enklare tillståndprocess kallad PDRA-G02 vilken beskrivs nedan. För större farkoster, vilka kommer att vara aktuella i test- och utvecklingssyfte under kommande åren, handlar det i dagsläget om att göra en så kallade SORA (Specific Operations Risk Assessment).

Projektet har teoretiskt undersökt hur ett förfarande för tillstånd med en större eVTOL skulle se ut. Om det inte redan finns dokumenterade ansökningar i ett annat land som omfattas av EASAs regelverk så handlar det om att göra en fullständig SORA. Detta följer en standardiserad metodik. Processen kräver dock en hel del administration och underlag. En uppskattning är att processen kan beräknas ta minst tre månader. Transportstyrelsen hanterar ansökningen. I vissa fall har den testande parten intern kompetens att ansöka medan det i vissa fall krävs att man anlitar en extern konsult som hanterar processen. Oavsett så krävs omfattande data och underlag från den testande parten. Detta innebär även kostnader som för en fullständig SORA kan uppskattas uppgå till upp mot 1 MSEK (men med stor osäkerhet) om extern hjälp tas för processen.

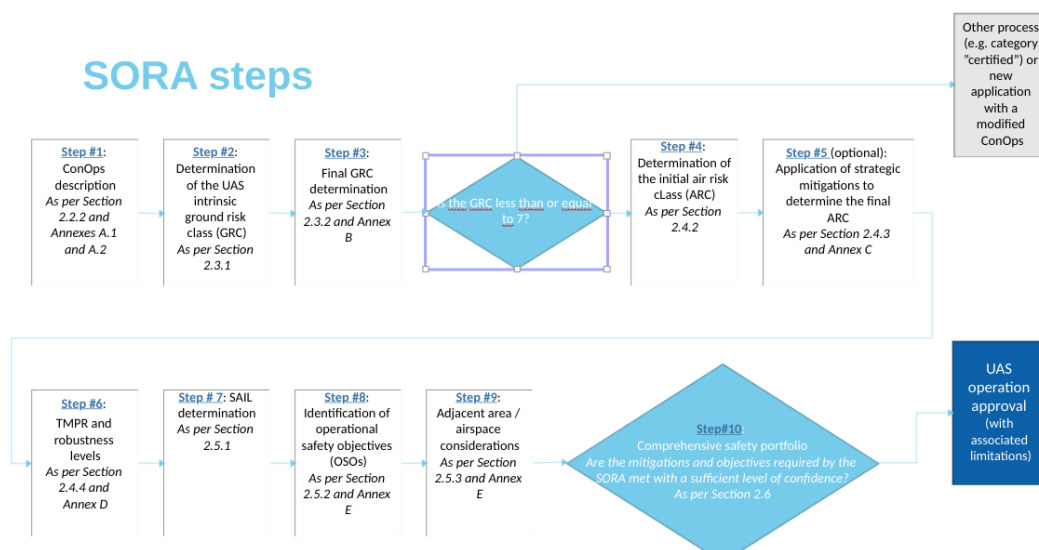
### **En kort introduktion till SORA**

SORA tillhandahåller en struktur för hur man på ett säkert sätt skapar, utvärderar och genomför en UAS-operation och särskilt för den "specifika" kategorin. Det syftar till att tillhandahålla en metod för att vägleda både UAS-operatörer och myndigheter i säkerhetsfrågor, dvs identifiera risker och hitta sätt att minska riskerna.

SORA är en guide som gör det möjligt för en UAS-operatör att hitta det bästa möjliga begränsningsåtgärderna för att minska risken till en acceptabel nivå. Av denna anledning innehåller SORA inga föreskrivande krav utan snarare säkerhetsmål som ska uppfyllas på olika nivåer av robusthet i proportion till risken. Metodiken syftar till att utvärdera säkerhetsriskerna med driften av UAS, oavsett klass, storlek eller typ av verksamhet.

Tillsammans kommer GRC (Ground risk) och ARC (Air risk) att skapa en SAIL (Specific Assurance and Integrity Level) som visar ett antal av de kvantifierade riskerna. Operatören måste visa överensstämmelse med SAIL genom att påvisa uppfyllandet av operativa säkerhetsmål. Det kan t.ex. vara fallskärm ombord, en väletablerad EMRG-insatsplan, adekvat utbildning för operatörer (piloter) och så vidare.

Exempel på metodik vid ett teoretiskt fall för test av en större eVTOL skulle kunna se ut ungefär så här:



För att få flyga utom synhåll (BVLOS) vilket t.ex. är fallet mellan Skellefteå Airport och Northvolt Ett krävs ett operationellt tillstånd för att flyga farkosten med aktuell bemanning och rutiner, samt upprättande av tillfälligt R-område runt Northvolt Ett för att tillse att risken för kollision med andra luftfarkoster är låg.

Det som gjorde att projektet valde PDRA var att begränsningarna i PDRA-G02 gjorde det möjligt att genomföra flygning på den aktuella sträckan med mindre administration. Detta berodde på att området som skulle överflygas passade in i kraven för PDRA-G02 som i huvudsak består i att flyga:

- med drönare med maximalt mått på 3 meter som genererar max kinetisk energi på 34 kJ
- utom synhåll för fjärrpiloten
- över glest befolkat område

-i avgränsat luftrum (t.ex. restriktionsområde).

För fullständiga villkor för PDRA-G02 villkor:

<https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/luftfart/dronare/tillstand/amc3-article-11-pdra-g02.pdf>

Eftersom projektet bland annat syftar till att säkerställa processer för de tillstånd som krävs så ingick att göra en skarp process från början till slut.

För att få det operativa tillståndet behövdes först flygväg bestämmas med tillämplig buffert för failsafes (om exempelvis kommunikation eller GNSS skulle sluta fungera behöver drönaren ha tillräckligt med utrymme för att autonomt flyga tillbaka till startplatsen). Den aktuella rutten drogs över glesbefolkat område i enlighet med PDRA-G02 både för att minimera luftrumsrisk och markrisk. Flyghöjden sattes till 120 m över marken utifrån höjdprofilen. Markhöjden över havet varierar relativt mycket vilket illustreras av bilden nedan som avser topografin på den aktuella flygsträckan.

I valet av flygrutt utgicks från närmaste möjliga väg, men med justering för att undvika bebyggelse vid Bergsbyn och istället flyga i en glesbefolkad korridor längre österut.

I all väsentlighet var planeringen lika inom kontrollzon och R-område, med skillnaden att Transportstyrelsen villkorade en buffert på insidan av R-området med 1 nautisk mil, vilket gjorde att så kallade failsafes var tvungna att aktiveras tidigare i detta område än i kontrollzonen.

Flera av ovanstående tillståndsfrågor är specifika men projektet har även bidragit med värdefull kunskap för andra sträckor då metodiken är likartad.

### Höjdprofil på flygrutt



Baserat på detta gjordes en ansökan om ett tillfälligt R-område för de delar av ruten som låg utanför flygplatsens kontrollzon, se bild nedan. Blåstreckad linje avser utkanten av kontrollzonen.

### R-område utanför kontrollzon med flygrutt i mitten



Nästa steg var att upprätta ett samarbetsavtal med ACR som bedriver flygtrafikledning vid Skellefteå flygplats. Detta avsåg att reglera hur flygning inom kontrollzonen skulle ske. Detta omfattande bland annat telefonnummer, rutiner och utsträckningen av den sektor som upprättats av ACR i kontrollzonen. Slutsatsen av det arbetet är att ett sådant avtal behöver tecknas med varje enskild aktör som ämnar bedriva test- och utvecklingsverksamhet på flygplatsen. Detta då varje testupplägg är unikt avseende nyttjandet av luftrummet i kontrollzonen.

Gällande den aktuella teststräckan ansökte ACR hos Transportstyrelsen om en sektor inom kontrollzonen.

För det operativa tillståndet krävdes ett antal dokument vilka listas nedan och kommer att vara relevanta för övriga aktörer som avser att bedriva testflygningar på den aktuella sträckan och som kvalar in för PDRA-G02.

- En formell ansökningsblankett för ett PDRA-G02
- En korsreferenslista med hur de olika säkerhetsmålen för drönare, pilot, underhåll och organisation uppfylls

- Bilagor med bevis för hur de uppfylls
- En operativ manual som förklarar hur operatörens organisation ser ut
- En underhållsmanual för drönaren
- En underhållslogg
- Loggdokument för flygningar och avvikelser
- En Emergency Response Plan (ERP) med rutiner för att mildra konsekvenserna vid en nödsituation

### Praktiska förfaranden kring tillståndsansökan

Katla, i form av ansvarig operatör, tog fram de dokument som behövdes för operationellt tillstånd. ACR tog fram samarbetsavtalet som reglerade samverkan mellan ACR och Katla.

I kontakten med Transportstyrelsen användes främst tidigare inarbetade kontaktvägar via mail och telefon. Kartunderlag och ansökan om R-område skickades till den enhet som behandlar luftrumsfrågor. Allt övrigt underlag skickades till den enhet Transportstyrelsen som behandlar operativa tillstånd.

Transportstyrelsens fakturerade kostnad för hela processen med det operationella tillståndet uppgick till ca 50 000 SEK. Ansökan om R-område medför ingen kostnad. Ansökan om sektor inom kontrollzonen kostade ca 2000 SEK.

Inför fortsatta flygningar är det en stark rekommendation att simulering av rutten innan flygning görs. Detta ger insikter som är bra att ha redan tidigt i ansökningsarbetet. I simuleringen testas även BVLOS-failsafes.

### Övriga resultat från flygningarna

Flygrutten var planerad på förhand. På plats matades den förberedda rutten in i styrdatoren och exakta koordinater bekräftades för start- och landningsplats. Mindre justering av rutten fick göras för att undvika byggnader då nya byggnader inom Northvolts område uppförts efter att satellitbilder som användes vid planeringen tagits.

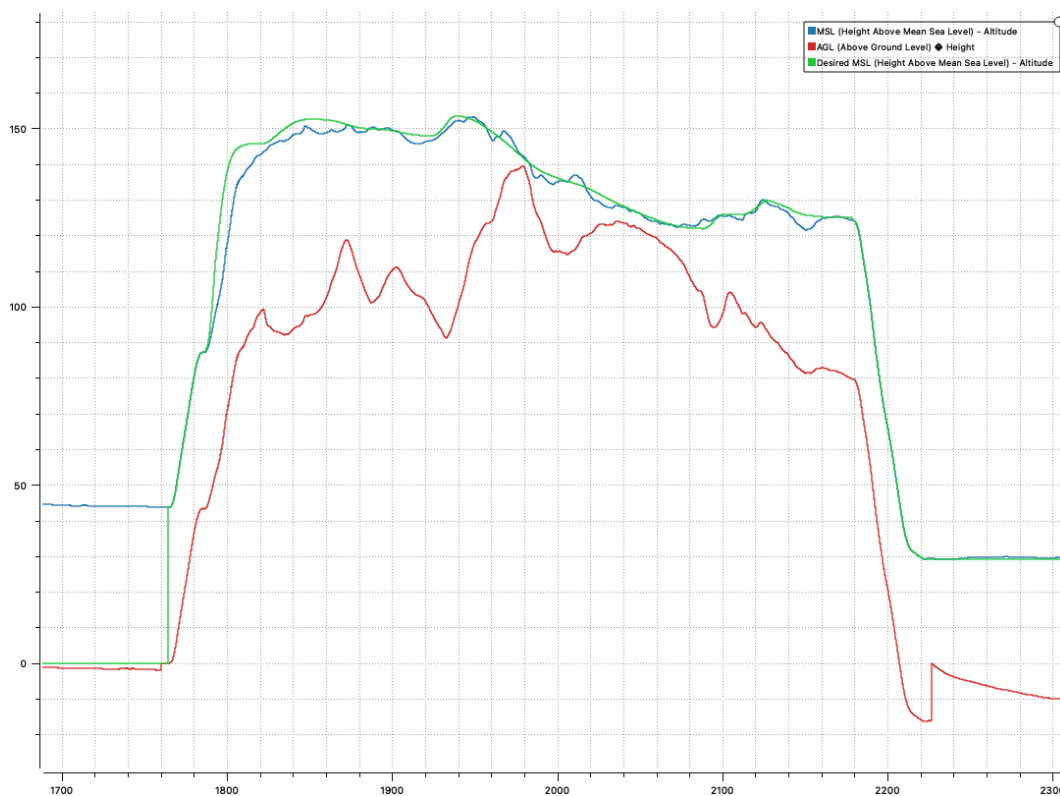
Flera testflygningar gjordes på flygplatsområdet under måndagen och tisdagen. Två fullbordade tur- och returflygningar genomfördes helt enligt plan. En

ytterligare flygning fick avbrytas en route då en paramotorflygare upptäcktes på ungefär 20 meters höjd vid landningsplatsen. Ett R-område var upprättat vilket gjorde att inga flygaktiviteter av denna typ fick äga rum. När flygningen avbröts flög drönaren tillbaka till startplatsen och landade helt enligt rutin. Andra flygplansrörelser begränsade kraftigt antalet flygningar på torsdagen.

Flygningarna skedde ca 100 meter över marken i 32 m/s relativt marken vilket resulterade i upp till 37 m/s relativt luftmassan. Flygtiden var 17 minuter tur och retur med en total effekttågång på 817 Wh.

### Exempel på flygprofil från en av testflygningarna

*X-axeln sekunder från uppstart av drönaren, Y-axeln meter*



Kontakten med flygledningen skedde genom telefonkontakt med tornet för klarering inom kontrollzon samt telefonkontakt med Stockholm ATCC för aktivering av R-området för den del av flygningen som låg utanför kontrollzonen. I kontrollzon begränsades möjligheterna till flygning på grund av annan trafik.

Separationen till annan flygtrafik var konservativ genom sektorn i kontrollzonen vilket begränsade antalet flygningar jämfört med om marginalerna varit mindre

tilltagna. Säkerhetsmässigt fungerade allt bra förutom paramotorflygaren som inte verkar observerat R-området och inte heller gick att nå. Eftersom det fanns personal vid landningsplatsen för att säkerställa att denna var fri vid landning hade denna också möjlighet att uppmärksamma att det ett par minuter efter start kom en paramotorflygare på ungefär 20 meters höjd över marken som flög runt över Northvolts område. Detta kommuniceras till piloten som avbröt flygningen enligt rutin med en return-to-home-manöver. Rutinerna fungera väl och drönaren var flera kilometer från paramotorflygaren. Om detta hänt längs sträckan och inte uppmärksammats hade en kollision kunnat ske. En incidentrapport skickades till Transportstyrelsen (*händelse med drönare*). En insikt är att det kan vara bra att som extra säkerhetsåtgärd inte bara ha kontakt med den lokala flygklubben utan även omkringliggande flygklubbar med annan verksamhet, såsom paramotorklubbar. Det belyste även vikten av väl förberedda reservplaner, även gällande om annan luftfart inte följer regler, och hur dessa nyttjas.

Det var generellt sett bra med ett brett tidsfönster för att kunna lösa oväntade problem. Tex. uppstod vissa kommunikationsproblem mellan drönaren och marken vilket gjorde att vi fick skjuta upp flygningarna på hela sträckan till slutet av perioden. Detta hade dock även kunnat behövas om t.ex. vädret hade varit sämre eller om annan flygtrafik gjort det ännu svårare att få luckor för flygningar.

### **Vad som kan återanvändas vid nya tillstånd**

Mycket av ett tillstånd är knutet till hur en specifik plattform och organisation hanterar de olika säkerhetskraven. Därför är det alltid enklast att upprepa flygningar med samma plattform och organisation, eller med samma plattform och en organisation uppbyggd på liknande vis. Om en annan flygande plattform och organisation ska söka ett liknande tillstånd kan bl.a. rutt och bedömning av markrisk och luftrumsrisk användas, utöver rutiner på plats och infrastruktur, samt att mobiltäckning visats fungera på sträckan. Ett sätt att underlätta användning av området som testbädd för drönare är att kartlägga mobiltäckning samt var det kan anses tät- respektive glesbefolkat.

### **Utvecklingsmöjligheter**

För restriktionsområden är det svårt att upprätta dessa under längre tid än två veckor, då Länsstyrelsen då behöver yttra sig, vilket kan ta lång tid. En lösning på detta är på väg att tas fram genom att använda D-områden istället för R-områden, vilket då skulle vara enklare att upprätta över längre tid än två veckor, samt kunna



användas mer flexibelt. På något längre sikt kommer UTM mest troligt att införas, vilket innebär flygtrafikledning av obemannade luftfarkoster på ett sätt som tillåter fler av dessa i en och samma luftvolym. För att genomföra kommersiella flygningar i kontrollzon idag finns inga regulatoriska hinder för detta på en kontinuerlig basis. Däremot skulle det vara svårt att göra detta effektivt med den mängd annan flygtrafik i kontrollzonen som finns idag på Skellefteå Airport om separation mot och prioritering av bemannad luftfart ska vara desamma som idag. Indikationer finns på att D-områden kan börja användas från någon gång under första halvåret 2023. Om ett sådant upprättas utanför kontrollerad luft är detta förmodligen den mest framkomliga vägen för att ha en eller flera drönare i luften samtidigt med en hög nyttjandegrad.

### **AP 3 Framtagande av business case för att nyttja teststräckan samt för kommersiell trafik på motsvarande sträcka**

#### **Bakgrund**

Upprättandet av en teststräcka för eVTOL samt användningen har utöver kunskapen om vad som krävs i praktiken även bidragit med insikt om kostnader för dessa. Det innefattar kostnader för tillstånd, nyttjandet av markinfrastrukturen och resurser på Skellefteå Airport, övriga resurser, kostnader för upprättandet av en enkel landningsplats på Northvolt samt installation av laddinfrastruktur.

Dessa data blir viktigt för att ge en indikation om vad i första hand installation av infrastruktur kan komma att kosta samt ge en bild av en möjlig användning av persontransporter med eVTOL. Det blir även viktigt för att förstå hur potentiella affärsmodeller kan utvecklas.

Integrering mot befintligt transportsystem samt även logistiksystem kommer att vara nödvändig. Det kommer även att behövas investeringar i beteendeförändrande insatser från kommunen på sikt.

Genom att illustrera hypotetiska sträckor för eVTOL i framtiden kan vi visa potential för kommersiell användning och undersöka vilka affärsmodeller som skulle kunna vara gångbara i glesbygd. Även här har antaganden gjorts baserat på tidigare studier samt vilka förutsättningar och behov som finns här.

De flesta studier som gjorts runt kostnader har gjorts för storstadsmiljöer där behoven ser annorlunda ut och där det även kan finnas en högre betalningsvilja från ett premiumsegment som inte finns eller är väldigt litet i icke urbana miljöer.

Något som blir tydligt när man undersöker kostnaderna för uppbyggnaden av infrastruktur är att det troligtvis kommer att vara nödvändigt att räkna in

drönarlogistik för nyttjandet av infrastruktur som byggs för passagerartransporter med eVTOL i Skellefteå och liknande regioner. Detta gäller framförallt i ett första steg för att för att motivera kostnaden för vertiports och vertistops. Denna studie har enbart tittat på eVTOL men för integration i mobilitetssystemet behövs ett samspel med övriga samhälls- och transportplanering.

Slutsatsen är att teknikutvecklingen för eldrivna flygplan går framåt men några av de största hindren inom det området är batteriutveckling, regelverk i form av certifiering som idag inte är anpassat för denna typ av flygplan samt finansieringshinder. För eVTOL är batteriutvecklingen inte fullt lika kritisk men där uppstår istället utmaningar kopplat till luftrumshanteringen.

En annan utmaning är markinfrastrukturen som är en nödvändig del för att möjliggöra en integration av eVTOL-trafik med nuvarande mobilitetssystem och strukturer. Det som gör arbetet komplicerat är att det system och de strukturer som finns idag runt mobilitet i sin helhet genomgår en förändring där elektrifiering av fordon, vätgas och autonoma lösningar också till viss del är samhällsomvandlande teknologier under implementering. Utvecklingen av drönare för logistik, sjukvård och övriga samhällsnyttiga tjänster är ytterligare en faktor att ta med i den beräkningen.

En iakttagelse är att utveckling när det gäller markinfrastruktur och systemintegration går långsammare än tekniken när det gäller farkoster. Detta kan bero på frågans komplexitet eftersom fler parter, både privata och offentliga organisationer, behöver samarbeta samt till viss del är beroende av krav och specifikationer från de som utvecklar själva farkosterna.

Utveckling är dock i ett tidigt skede, och inga eVTOLs är ännu certifierade för kommersiell trafik. EASA tar fram riktlinjer för hur eVTOL ska kunna certifieras och ser över regelverk för hur dessa nya typer av farkoster ska få framföras i bebyggda miljöer. Projektet har påvisat ett behov från industrin att kunna nyttja teststräckan för fortsatt test- och demonstrationsverksamhet inom eVTOL-området.

Vårt exempel på business case för kommersiell trafik visar bl.a. att den initiala trafiken kommer att bli dyr vilket i sig troligtvis kommer att påverka efterfrågan.

### **Business Case – eVTOL**

Advanced Air Mobility (AAM) är ett samlingsnamn för en framväxande gren av ny mobilitet ofta förknippad med drönare och eVTOLs (electric vertical take-off and landing). Dessa är mindre luftfarkoster som kan trafikera kortare sträckor, inom till exempel urbana miljöer eller mellan stad och landsbygd. AAM och

eVTOL kan vara på väg att påverka hur vissa transporter ser ut inom och mellan städer – och även utanför stadskärnorna.

Det som utmärker dessa farkoster är att de utvecklas för en helt ny marknad av persontransporter till skillnad från elflygplan som delvis ska ersätta mindre fossildrivna plan på befintliga marknader. Möjligheterna att starta och landa vertikalt innebär en större flexibilitet för start- och målpunkter och behovet av investeringar i infrastruktur är ofta begränsat. Samtidigt krävs det ny infrastruktur jämfört med elflygplan som kan nyttja befintliga flygplatser. Flera av företagen har ambitionen att på sikt utveckla autonoma farkoster och därmed ersätta piloten med ytterligare en betalande passagerare.

Flera av eVTOL-farkosterna behöver, för att starta och landa, en yta som motsvarar ungefär en helikopterplatta. När verksamheten ska bedrivas kommersiellt så tillkommer det dock viss infrastruktur. Det handlar till exempel om utrymmen för personal, uppställningsytor för farkosterna, utrymmen för passagerare samt eventuellt dokument- och säkerhetskontroll.

Ett ökat antal eVTOL, med eller utan passagerare, medför också att antalet flygrörelser ökar kraftigt. Luftrummet är sedan länge anpassat för bemannat flyg och dagens flygtrafikledning utförs av människor. En stor ökning av flygningar innebär att en automatisering är nödvändig om flygsäkerheten ska upprätthållas. Detta medför troligtvis att nya krav ställs på navigeringsutrustning ombord, eventuellt även för de konventionella luftfartygen i samma luftrum (Transportstyrelsen, 2019a). Denna utveckling kan också innebära ett steg på vägen för att vänja allmänheten vid elektriska flygfarkoster, inklusive elflygplan.

Advanced Air Mobility (AAM) inbegriper framväxten av en hel industri bestående av tillverkare av drönare, operatörer av drönare och även operatörer av start- och landningsplatser. AAM inbegriper också nödvändig mark- och luftrumsinfrastruktur såväl som serviceinfrastruktur och lösningar för betalning m.m. eVTOL för passagerartransport utmärks av att de transporterar mellan två till sju personer upp till 10–15 mil på el och betydligt längre på vätgas. Med långa räckvidder kan eVTOL hypotetiskt konkurrera med både business jets, regionalflyg, bil samt busslinjer men kapaciteten i en eVTOL är så låg att kostnaden för långa resor kommer att bli mycket hög. Även för kortare resor bedöms priset vara högt i början vilket innebär att det blir ett begränsat marknadssegment som blir aktuellt. AAM bedöms dock som helhet kunna bli en av flera storskaliga disruptiva utvecklingar inom mobilitetsområdet under det kommande decenniet.

### **Affärsmodeller**

Även när det gäller hypoteser runt hur affärsmodellen skulle kunna se ut har tidigare studier tittat på mer befolkningstäta områden och storstäder. I Sverige,

med sin stora glesbygd, kommer modellen mest troligt att vara någon slags hybrid där man initialt kommer att behöva kartlägga flöden samt göra antaganden om flöden om 5–10 år då demografi och beteenden delvis kan ha förändrats.

### On demand Urban Air Mobility

UAM (Urban Air Mobility) är ett koncept som utvecklats under de senaste åren och som är tänkt att använda eVTOL för att snabbt transportera passagerare och gods i stadsmiljö. Eftersom de är snabbare än markfordon, kan eVTOL:er teoretiskt tillhandahålla ett effektivt och tidsbesparande transportsätt för tidskänsliga passagerare när vägnätet är hårt belastat. Många privata företag har investerat i att designa och utveckla eVTOL och tillhörande UAM-tjänster. Dessutom måste regionala, statliga och lokala intressenter arbeta med den privata sektorn för att integrera sådana nya transportsätt i befintliga multimodala transportsystem. Kapaciteten är dock låg och kommer endast på marginalen komma att kunna avlasta marktransporterna.

Diskussionen om markinfrastrukturen som krävs för UAM koncentrerar sig på vertiports eftersom start- och landningsplatser kan komma att bli en begränsande faktor för UAM att nå sin fulla potential. I de tidiga faserna av UAM-verksamheten kommer farkosterna troligtvis framförallt komma att betjäna ett fåtal platser med störst resebehov i städer. För att tillåta UAM att betjäna större områden och vara till nytta för fler människor påpekar forskare att UAM måste samverka tätt med det befintliga transportsystemet för att uppnå full potential.

Från förslag till koncept till faktisk drift, har intressenter föreslagit nya produkter och koncept för att förverkliga UAM. Tillverkare utvecklar nya flygplanskoncept, tillsynsmyndigheter föreslår driftregler, beslutsfattare diskuterar operationella begränsningar, leverantörer av flygtrafiktjänster förbättrar drifteffektiviteten och akademien försöker förstå krav gällande allmän acceptans och samhällsnytta. För att accepteras av allmänheten måste säkerhets- och hållbarhetsaspekter tas upp. Flera eVTOL är stora farkoster som väger ett antal ton. Detta innebär ett stort antal säkerhetsaspekter att hantera om driften ska kunna skalas upp. Även om en eVTOL inte genererar direkta utsläpp under flygning krävs hållbart producerad el och batterier samt att markinfrastrukturen har ett lågt klimatavtryck. Vidare så kommer eVTOL att bullra även om det kommer att vara betydligt lägre än dagens flygfarkoster.

Resor med eVTOL där man beställer en resa likt en taxi skulle även i mer befolkningstäta områden troligtvis behöva en mycket hög nyttjandegrad för att nå lönsamhet. Ju högre priset blir desto lägre blir efterfrågan. Samtidigt kommer inte priset att kunna vara för högt. Särskilt om man i tidiga skeden vill locka användare. De stora industriella investeringarna i norra Norrland kommer att kräva en effektiv regional kollektivtrafik för de troligtvis servicevana personer som rekryteras och som i någon mån vill fortsätta leva i ett samhälle med korta transporttider. Det är sannolikt att vissa korta resor som idag sker med affärsjet,

taxiflyg och helikopter kommer att ersättas av on-demandlösningar med eVTOL. Primärt är det dock troligtvis bilresor som ersätts alternativt att det leder till helt nya resemonster och skapar nya resebehov. eVTOL kommer eventuellt även att bli en del av kollektivtrafiken och ett multimodalt transportsystem där en resa kan innehålla en kombination av mark- och lufttransport

#### Schemalagda-/reguljärresor

Färdmedel som eVTOL skulle i t.ex. Skellefteå troligtvis främst ersätta buss, taxi eller egen bil. I dagsläget väljer fler att ta sin egen bil än att åka buss. För att det ska löna sig att åka eVTOL behövs hela resan räknas in där man först behöver ta sig till en vertiport samt passa en avgång. Däri uppstår en viss tidsförlust samt att tankesättet runt samåkning kan möta visst motstånd. Andra faktorer som kan förlänga restiden med eVTOL skulle kunna vara förseningar beroende på väntetid för ett fritt luftrum, batteriladdning eller batteribyte, säkerhetsprocedurer m.m.

När det gäller kostnaden av hela resan från start till slutdestination behöver även priset för att komma till och från en vertiport/vertistop räknas in.

#### Abonnemang på flygningar

Detta är en affärsmodell som bygger på att en kund, exempelvis ett större företag, i förväg köper in en tjänst för X antal resor på en eller flera sträckor till ett fast pris.

Tjänsten innefattar då en helhetslösning innefattande vertiports, laddning och eVTOL-transport för det antal resor som ingår i avtalet under en viss tid. Den här affärsmodellen bygger på kundens behov av resor och de fördelar som finns för kunden med den här lösningen. För leverantörer av eVTOL-tjänster kan denna lösning skapa en säker och kalkylerbar intäkt över längre tid. Denna affärsmodell skulle kunna vara det som får någon aktör att i tidiga skeden våga ta det första steget med att utveckla och erbjuda eVTOL-transporter.

### **Marknadsbarriärer**

Följande är några av de mest kritiska marknadsbarriärerna för eVTOL:

- Certifieringsprocess av eVTOL-farkoster
- Batteriutveckling
- Kostnadsbild och prisvärdhet
- Nyttjandegrad
- Prestanda och tillförlitlighet (väderpåverkan)
- Flygtrafikledning och luftrumshantering
- Säkerhet

- Störande ljud
- Vertiportinfrastruktur
- Pilotträning

## Översiktlig bild över potentialen för kommersiell trafik

De flesta studier som har genomförts för att ta reda på vilka kostnader som slutkund kommer att behöva betala för en resa har gjorts i stora städer där man har räknat med att farkosterna flyger mer frekvent än vad de skulle göra i en mer glesbefolkad region. Dessa studier har till stor del utförts av utvecklare av eVTOLs som utgår ifrån en hel del antaganden och baseras på många oförutsägbara parametrar. Att komma ihåg är också att dessa aktörer har en vinning av att ha ett optimistiskt förhållningssätt i sina prognoser, bl.a. för att locka investerare.

De kostnader som olika studier har kommit fram till ligger allt från att en passagerare kommer att behöva betala ca 15 kr per kilometer till 74 kr per kilometer, dock med stora osäkerheter.

## Överblick av uppskattade kostnader

Projektet har tittat närmare på kostnader för att få översiktlig bild över potentialen för kommersiell trafik. Vi har delat in kostnaderna enligt följande. Längre ned framgår en uppskattning av kostnaderna.

Operativa kostnader (MSEK)		Fasta kostnader (MSEK)
<b>eVTOL-kostnader</b>		<b>Markinfrastruktur</b>
- Leasing		-Avskrivning på bas- och vertiportinvesteringar
- Försäkring		-Hangarer
<b>Energi</b>		<b>Administration och ledning</b>
- Elförbrukning		- Kontor och personalutrymmen
		-Ledningsfunktioner samt administration
<b>Batteri och underhåll</b>		-Marknadsföring och försäljning
- Kostnad för att ersätta batteri		-IT, teknik och support
- Underhållskostnader och reparationer		
-Övriga operativa kostnader för markinfrastruktur, bemanning, säkerhet, räddningstjänst, snöröjning m.m.		<b>Övriga fasta kostnader</b>
		-Planerat underhåll

<b>Besättning</b>		-Underhålls- och ramppersonal
- Lönekostnader		
- Utbildning		

### Beräkning av kostnader relaterade till inköp av eVTOL

Denna kostnad utgör kostnaden för inköp eller leasing av eVTOL. Baserat på tillgänglig data har vi utgått från 27 MSEK per fordon. Detta handlar om en relativt stor eVTOL med ca 4-5 passagerare samt pilot. Anskaffningen kan handla om leasinglösningar, inköp med lån eller kontant. Eftersom det är en helt ny bransch och helt nya farkoster kommer osäkerheterna kring livslängd, värdeminskning m.m. att vara mycket stora. Detta innebär mycket höga kalkylkostnader för den första generationens farkoster. Efter grundlig research har projektet landat i följande kalkyl för att beräkna den årliga kostnaden för en eVTOL. Leasingkostnaden beräknas till 1,25% per månad baserat på inköpspriset. Detta innebär att leasingkostnaden för två eVTOL uppgår till sammanlagt 8,1 MSEK per år. En hög summa som speglar den betydande osäkerheten i detta tidiga skede. Även försäkringskostnaden för de första farkosterna bedöms vara hög. Detta baseras på hur försäkringen för flygplan, helikoptrar samt första generationens elflygplan ser ut. Sedan kan den höga leasingkostnaden göra att vissa aktörer själva väljer att köpa och finansiera eVTOLs med eget kapital vilket, givet värdeminskning m.m. kan pressa månadskostnaden. Slutsatsen är dock att det kommer att bli relativt höga kostnader oavsett vägval.

### Beräkning av kostnader relaterat till laddinfrastruktur

Projektet har utgått från att en vertiport behöver minst en snabbbladdare på 350 kW. Där är prisindikationen 2 till 2,5 MSEK per laddare. Andra kostnader utgörs av:

Elnätanslutningsavgift: cirka 350 000 SEK (varierar mellan elnätsbolag)

Installationskostnad inklusive material: cirka 300 000 SEK

Markarbeten: cirka 300 000 SEK

Faktorer som påverkar dessa kostnader är avstånd för nätanslutning samt markförhållanden. Ett normalt elpris på en snabbbladdare kan i dagsläget variera från omkring 3,50 till 8,00 SEK per kWh. Olika operatörer tillämpar helt olika prissättning och vad priset blir för eVTOL-laddning är ytterst osäkert.

Laddinfrastrukturen skulle därmed troligtvis medföra initiala kostnader på åtminstone 3,5 MSEK på de ställen där det krävs en snabbbladdare. Driftsform,



affärsmodell för nyttjandet m.m. behöver utredas vidare. Dock är det tydligt att laddinfrastrukturen för en snabbbladdare kommer att innebära en betydande kostnad som sedan ska betalas av användarna.

#### Beräkning av kostnader relaterade till batteribyte och underhåll

Batterikostnaden bedöms utgöra en hög kostnad initialt. Detta baseras bl.a. på antagandet att certifierande myndigheter kommer att ställa mycket höga krav på batterisäkerhet. Detta innefattar att batterierna kommer att behöva bytas ut efter ett visst antal laddcykler. Under de första åren är bedömningen att antalet laddcykler kommer att vara lågt för att därmed ha en stor säkerhetsmarginal innan man har tillräcklig data om hur batterierna åldras över tid. När mer data har samlats in kommer troligtvis antalet godkända laddcykler (och därmed batteriernas livslängd i farkosterna) att öka vilket kommer att minska batteri kostnaden per flugen kilometer. Initialt kommer troligtvis inte heller marknaden för utjänta batterier att vara utvecklat. Om vi antar att ett batteripack byts ut när det har kvar ca 70 procent av sin ursprungliga kapacitet så finns fortfarande ett stort värde kvar i batteriet för användning i andra applikationer inklusive batterilager. Om det skapas en fungerande andrahandsmarknad för batterier så kan kostnaden för batterierna minska och kommer att vara en viktig parameter för att sänka den övergripande kostnaden för eVTOL-trafik.

Gällande service och underhåll är det till stor del en okänd parameter då ingen färdig certifiering finns som klargör serviceintervall, behov av underhåll m.m. Ett rimligt antagande är att serviceintervall av säkerhetsskäl kommer att sättas relativt strikt i inledningen och därmed addera kostnader. Dock bör det löpande underhållet kunna optimeras över tid men med ny teknik finns en betydande risk för tidiga fel som kräver åtgärder och gör att farkosterna blir stående på marken under längre tid. Vidare kommer service och underhåll till stor del att behöva göras lokalt då farkosterna har kort räckvidd och inte kan flyga till servicepunkter långt bort. Detta skapar ett mer komplext service- och underhållssystem.

#### Beräkning av kostnader för personal och utbildning

Personalkostnaden baseras på befintlig trafik med en pilot i små flygplan och helikoptrar. Eftersom kraven på eVTOL-piloter ännu inte är kända så är det svårt att bedöma utbildningsbehovet. Dock antas en kostnad för löpande utbildning, träning m.m.

### Beräkning av kostnader relaterade till start- och landningsplatser

Det finns ett antal utvecklare av vertiports världen över, exempelvis Skyportz i Australien, Urban-Air Ports i Storbritannien samt Volatus och Beta i USA. I Sverige finns även Kookiejar som utvecklar modulära vertiportlösningar. Bedömningen är att ett stort antal aktörer kommer att tillkomma under de kommande åren. Det är i dagsläget omöjligt att beräkna kostnaden. Rimligt är dock att vi kommer att se ett stort spann av lösningar från riktigt små vertistops som snarast är att likna vid en helikopterplatta till större lösningar med inomhusmiljöer, hangarer, flera start- och landningsytor, service, snabblandningsmöjlighet m.m. Kostnadsspannet kan uppskattningsvis hamna någonstans mellan 5 - 50 MSEK. Bedömningen är dock att marknaden i Sverige är så pass begränsad att de större modellerna av vertiports inte kommer att vara aktuella i närtid. Samtidigt innebär vädret i Sverige troligtvis större behov av inomhusmiljöer i anslutning till vertiports. Ägandeformen kommer troligtvis att variera. Det kan handla om att köpa in en vertiport där drift, service och underhåll handlas upp lokalt eller av leverantören i form av en tjänst. Det kan även handla om att hela vertiportlösningen köps in som en tjänst med en fast avgift per månad eller år. Graden av integration i övriga mobilitetsystemet är också oklar. En central aspekt för de som utvecklar vertiports är att de ska vara skalbara samt tillgängliga för ett stort antal modeller av eVTOLs och inte vara låsta till en viss modell.

Affärsmodellen för en vertiport kommer troligtvis att vara kopplad till en kostnad per start och/eller landning som belastar operatören. Eftersom kraven på t.ex. säkerhet, dokumentkontroll och liknande är okänt är det svårt att veta hur kostnader, dimensionering m.m. kommer att se ut.

### Beräkning av kostnader för ledning, personal m.m

Oavsett affärsmodell så kommer operatören/leverantören av eVTOL-tjänster att ha kostnader för ledning, administration, tillstånd, biljettförsäljning, IT-stöd och mycket mer. Dessa kostnader kommer på ett eller annat sätt att belasta det slutliga biljettpriset. I kalkylerna har vi försökt att uppskatta vad kostnaden för detta skulle bli kopplat till eVTOL-trafik i Skellefteå.

### Beräkning av kostnader för underhållspersonal

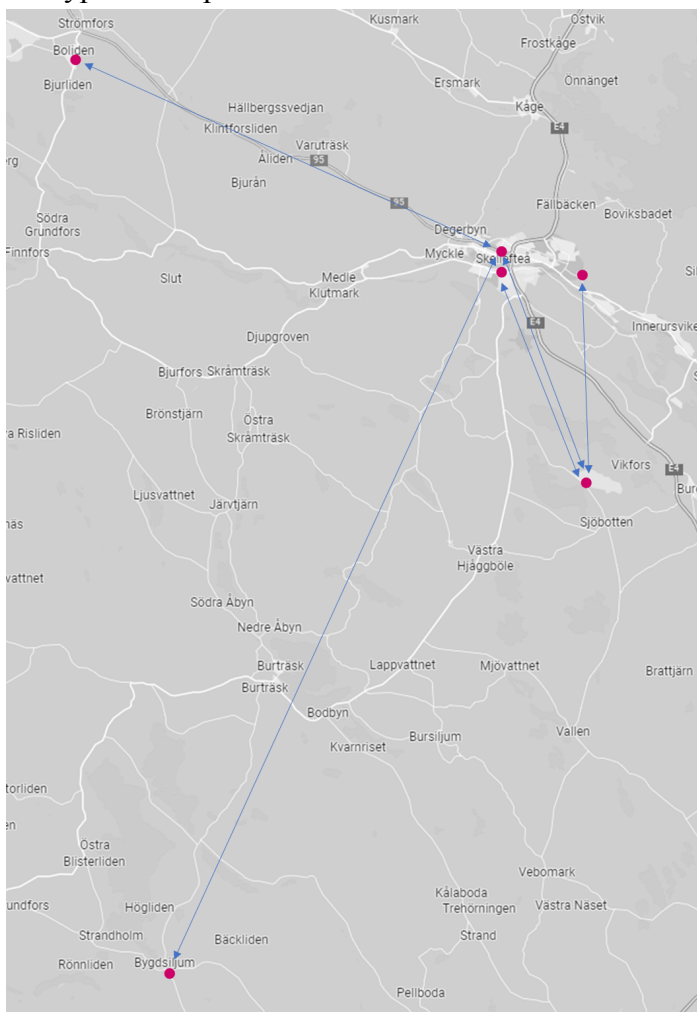
Certifieringen av eVTOL-farkoster och tillhörande kommersiell trafik kommer att ställa krav på underhåll. Nivån på detta är ännu okänd men bedömningen är att det kommer att krävas dedikerad underhållspersonal kopplad till den bas där eVTOL-farkosterna har sin hemvist.

## Hypotetiska sträckor lokalt

Projektet har valt ut sex hypotetiska start och landningsplatser för eVTOL där två är vertiports och fyra är vertistops. Skillnaden mellan de två är bl.a. att en vertiport har snabblandningsmöjlighet och oftast en tydligare koppling till det övriga transportsystemet. Den kan även innehålla olika grad av inomhusmiljöer, lokaler för service och underhåll m.m. En vertistop är primärt en enkel start- och landningsplats ämnad för passagerare att stiga av eller på.

Anledningen att vi valt ut ett antal platser är för att kunna påvisa olika lösningar - på flygplats, i stadskärnan, på landsbygden, i nybyggnation, m.m.

De hypotetiska platserna som valts och varför:



**Vertiports:**

- Skellefteå Airport - Flygplatsen är en viktig del i Skellefteås mobilitetssystem idag och är en knutpunkt för både nationella och internationella resor. Flygplatsen är även med och bygger upp en bred testbädd för elflyg.
- Skellefteå Centrum (kommande resecentrum) - Tillgänglighet till stadskärnan genom utökningen av mobilitetsalternativ kommer att göra stadskärnan till en ännu viktigare knutpunkt för flera transportslag. Norrbottniabanan som beräknas angöra Skellefteå under 2030-talet samt uppbyggnaden av mobilitetshubbar som planeras av kommunen är viktiga delar i det arbetet.

**Vertistops:**

- Northvolt - Teststräckan mellan Northvolt och flygplatsen som har varit fokus för arbetet i det här projektet förväntas även bli en kommersiell transfersträcka framgent.
- Arctic Centre of Energy (ACE) - Centrumbildningen för elektrifiering på Skellefteå Campus kommer att vara en del av testverksamheten för elektrifierat flyg. Det projekteras en ny byggnad där vi tittat på en tänkt landningsplats i närheten av byggnaden.
- Boliden - I Boliden sker en stor inpendling varje dag från Skellefteå stad då gruvbolaget Boliden är en stor arbetsgivare. Även behov av snabba varutransporter.
- Bygdsiljum - Ett populärt turistmål året om men där även Holmen har ett stort sågeri med betydande inpendling där flera reser från Skellefteå. Även ett stort antal verkstadsindustrier finns i Bygdsiljum.

**Sträcka 1: Skellefteå Airport- Northvolt Ett**

Med bil ca 27 km, 30 min körtid

Med UAM ca 13 km, 8 min flygtid

**Sträcka 2: Skellefteå Airport – Skellefteå Centrum (Resecentrum)**

Med bil ca 20 km, 23 min körtid

Med UAM ca 13 km, 8 min flygtid

**Sträcka 3: Skellefteå Airport – Campus Skellefteå**

Med bil ca 19 km, 20 min körtid

Med UAM ca 13 km, 8 min flygtid

**Sträcka 4: Skellefteå Airport – Boliden**

Med bil ca 52 km, 47 min körtid

Med UAM ca 40 km, 20 min flygtid

**Sträcka 5: Skellefteå Airport – Bygdsiljum**

Med bil ca 50 km, 42 min körtid

Med UAM ca 40 km, 20 min flygtid

De hypotetiska sträckorna kan ge en bild av hur behovet för persontransporter skulle kunna se ut runt om Skellefteå. Det kan vara värt att ha i åtanke att befolkningen i Skellefteå tätort är ca 33 000 och i kommunen som helhet ca 73 000. Kommunen beräknas dock få en betydande befolkningsökning och närma sig 100 000 inom en tioårsperiod vilket ställer helt nya krav på bl.a. transportinfrastrukturen.

I dagsläget är det en befolkningstäthet på 11 inv/km<sup>2</sup> jämfört med Stockholms län med 373 inv/km<sup>2</sup>. Detta innebär helt andra transportbehov. När det gäller eVTOL så skulle därmed turtäthet, flygsträckor, betalningsvilja m.m. skilja sig åt betydligt mellan de olika platserna.

Kostnaden för eVTOL-transporter är ännu osäker och kommer att ha stor påverkan på vilka som kommer att nyttja dessa transporter och hur ofta. En av de stora frågorna är om det kommer att finnas behov av reguljärtrafik i mer glesbefolkade områden eller om det primärt blir någon form av anropsstyrd taxitrafik.

**Beräkning av kommersiell trafik**

Vid beräkning av kommersiell trafik av beskrivna sträckor har vi bl.a. gjort följande antaganden. Arbetet har utmynnat i att det troligtvis skulle krävas minst två eVTOL för att kunna erbjuda en attraktiv produkt avseende avgångstider, tillgänglighet m.m. Egentligen skulle det behövas fler men bedömningen är att de

höga kostnaden gör det kommersiellt svårt att driva denna typ av trafik med fler än två farkoster initialt baserat på den marknad vi antar. Gällande administration, ledning och liknande så har inga kostnader lagts in i kalkylen. Detta beror på att en potentiell verksamhet kan utgöra en del av en befintlig verksamhet där det är ytterst svårt att veta vad som ska allokeras till denna del av verksamheten.

- 2 eVTOL (4 passagerare och inköpskostnad per eVTOL – 27 MSEK)
- 3 piloter (heltid)
- 2 underhålls- och ramppersonal
- 1 huvudbas på Skellefteå Airport
- 2 vertiports
- 3-5 enklare vertistops

---

<b>Operativa kostnader (MSEK)</b>	<b>17,8</b>
<b>eVTOL-kostnader</b>	<b>9,6</b>
Leasing	8,1
Försäkring	1,5
<b>Energi</b>	<b>0,5</b>
Elförbrukning	0,5
<b>Batteri och underhåll</b>	<b>4,3</b>
Kostnad för att ersätta batteri	1,8
Underhållskostnader och reparationer	2,5
- Övriga operativa kostnader för markinfrastruktur, bemanning, säkerhet, räddningstjänst, snöröjning m.m.	
<b>Besättning</b>	<b>3,4</b>
Lönekostnader	3,2
Utbildning	0,2
<b>Fasta kostnader (MSEK)</b>	<b>3,6</b>
Markinfrastruktur	2,3
Avskrivning på bas- och vertiportinvesteringar	0,8
Hangarer	0,5

<b>Operativa kostnader (MSEK)</b>	<b>17,8</b>
<b>eVTOL-kostnader</b>	<b>9,6</b>
Leasing	8,1
Försäkring	1,5
Övriga fasta kostnader för landningsplatser	1,0
<b>Administration och ledning</b>	<b>3,0</b>
Kontor och personalutrymmen	
Marknadsföring och försäljning	
IT, teknik och support	
Övriga overheadkostnader	
<b>Övriga fasta kostnader</b>	<b>1,4</b>
Planerat underhåll, underhålls- och ramppersonal	1,4

Kalkylen innehåller ett stort antal osäkerheter då denna typ av transport ännu inte finns någonstans. Baserat på den kunskap som finns inom befintlig flyg- och helikopter verksamhet har dock ovanstående uppskattningar gjorts. Dessa landar i en kostnad på knappt 26 MSEK per år för en verksamhet med två eVTOLs.

Kalkylen är starkt beroende av inköps-/leasingkostnaden för själva farkosterna. Vidare uppstår en betydande kostnad på grund av att batterierna av säkerhetsskäl beräknas bytas ut med relativt täta intervall under de första åren. De flesta av de eVTOLs som utvecklas i dagsläget är förberedda för autonom drift. Under relativt lång tid beräknas det dock finnas krav på en pilot. Detta medför en betydande kostnad.

För att förstå vilken omfattning av trafik som krävs för att uppnå break-even enligt ovanstående kostnader har kalkyler och simuleringar gjorts avseende trafik, nyttjandegrad, biljettpriser m.m. Dessa antaganden och kalkyler sammanfattas nedan.

Restyp	Längd (km)	Medeldistans (km)	Restid (min)	Biljettpris (SEK)	Biljettpris per passagerarkm (SEK)
Kort	5-10	8	7	500	63
Medel	10-20	16	9	700	44



Lång	20-40	30	14	800	27
Extralång	40-65	50	21	1 100	22

Beläggingsgrad	70%
Dagar utan trafik per år	50
Inställd trafik pga väder	15
Dagar per år med intäktsgenererande trafik	300

	Antal flygningar per dag/eVTOL
Kort	4
Medel	12
Lång	4
Extralång	2

Flygningar med intäkt per dag/eVTOL	22
Flygningar med intäkt per dag/bas	44
Totalt antal passagerare/dag	123
Total intäkt per dag (SEK)	88 500
Total intäkt per år (SEK)	26 600 000

För att nå break-even krävs, givet ovanstående antaganden, ett biljettpris på i genomsnitt ca 720 SEK samt att 22 intäktsgenererande flygningar per fordon kan genomföras per dag under ca 300 dagar per år. En av utmaningarna är den låga kapaciteten i fordonen. Eftersom vi i kalkylen räknar med en kapacitet på fyra passagerare per eVTOL och en beläggingsgrad på 0,7% så kommer det i snitt endast att sitta 2,8 betalande passagerare i fordonen per flygning. Skulle det gå att få tillgång till eVTOL med 5 säten alternativt öka beläggingsgraden så förbättras kalkylen. Det kommer dock oavsett detta att krävas biljettpriser på 500 kronor och uppåt enkel väg för att få en fungerande kommersiell verksamhet. Den tid under dygnet som trafiken beräknas vara igång är satt till 06.30 - 20.30, det vill säga 14 timmar. I kalkylen ligger även ett antal tomma positioneringsflygningar som inte genererar intäkter. En del av dessa är oundvikliga men går det att minimera dessa skulle antalet intäktsgenererande flygningar kunna öka något.

### **Relevanta aktörer att uppvakta**

För att skapa förutsättningar för kommersiell eVTOL-trafik i regionen behövs nära samverkan med Skellefteå kommun, Region Västerbotten, Skellefteå Airport, Skellefteå Kraft och ACR men även med lokala privata aktörer inom industri, tjänstesektor, besöksnäring m.m. vilka samtliga har betydande transportbehov. För att attrahera kommersiella aktörer som ska leverera både farkoster, infrastrukturlösningar, bokningstjänster m.m. behövs initialt troligtvis någon form av stöd och incitament då affärsrisker och kostnader för de första aktörerna kommer att vara höga. Detta behöver utformas i linje med relevanta regelverk.

### **Kostnader relaterat till testverksamhet - Skellefteå Airport och Northvolt Ett**

Arbetet i detta projekt har även undersökt vad som krävs för att kunna erbjuda initial testverksamhet. Det var bl.a. därför som projektet valde att göra testflygningar under en vecka för att därmed i skarpt läge förstå de delar som behöver hanteras samt de kostnader som uppstår. I det arbetet har även kontakter tagits med några (ej namngivna) aktörer som utvecklar farkoster och delkomponenter.

En grov uppdelning av kostnaderna för att kunna erbjuda testverksamhet består av nedanstående delar.

Arbetstid för lokal flygtrafiktjänst vilket innefattar medverkan på initiala möten för att förstå behovet och avgöra vad som kan och vad som inte kan göras, upprättande av sektor inom kontrollzon, avtal med operatör, telefon och/eller radiokommunikation under och i samband med själva flygtiden m.m.

Kostnader för ytan som tas i anspråk på flygplatsen. Sker arbetet på airside krävs ledsagning alt. upprättande av behörigheter vilket innebär lokala personalkostnader. Vidare krävs hangaryta där behoven kan variera beroende på kraven från respektive aktör. Elförbrukning för laddning m.m. är relativt begränsad i testverksamhet men det är också en komponent som behöver hanteras.

För en utvecklare kan det beroende på hemvist, befintliga tillstånd m.m. krävas olika typer av tillstånd vilket beskrivs på annan plats i rapporten. En fullständig SORA för en operatör utan befintligt tillstånd för testflygning inom EU uppskattas till strax under 1 MSEK.

Vidare krävs det ytor för start och landning på extern plats liknande den yta som gjordes i ordning vid Northvolt Ett i samband med testflygningarna som

genomfördes i projektet. Det handlar framförallt om att kunna stänga av ytan på ett säkert sätt samt kostnader för personal som visuellt kan säkra ytan i samband med start och landning. I Skellefteå projekteras ytterligare en start- och landningsyta på området Hammarängen.

Eftersom varje testbehov är unikt är det omöjligt att beräkna en generell kostnad för tester och för att nyttja en korridor liknande den mellan Skellefteå Airport och Northvolt Ett.

- Hangarkostnaden kan uppskattas till ca 30 000 SEK per månad
- Lokala personalkostnader uppgår till minst 7 000 SEK per testdag
- Kostnader för övriga förberedelser uppgår till minst 30 000 - 50 000 SEK

Detta bedöms dock vara de lägsta kostnader som uppstår lokalt vid mindre omfattande tester. Vid ett större testprojekt kommer framförallt de lokala personalkostnaderna att öka.

### **Potentiella testare – eVTOL-tillverkare**

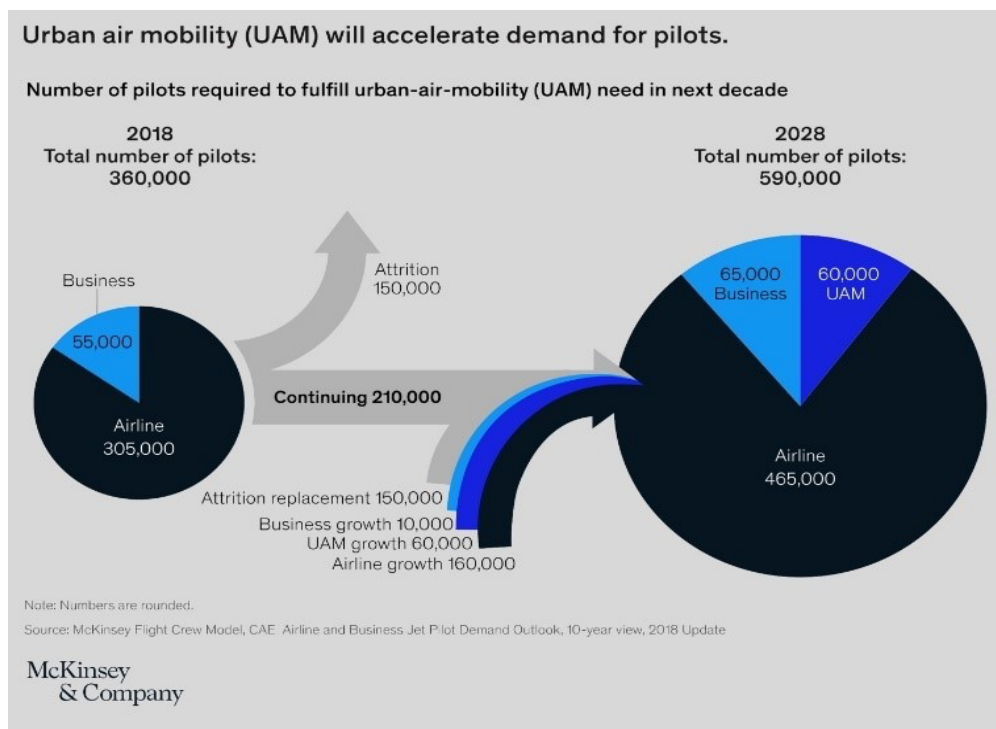
Det uppskattas att mellan 300-500 olika företag försöker att bygga olika typer av eVTOLs baserat på en mängd olika filosofier avseende design, teknik och användningsområden. Projektets analyser och research har identifierat en mängd utmaningar som måste hanteras innan kommersiell trafik blir verklighet. Det handlar om mängder av tester av delkomponenter och farkoster i verklig miljö på vägen mot fullt ut certifierade produkter och farkoster. Behovet av testverksamhet bedöms därmed vara betydande under ett stort antal år framöver. Inte minst handlar det om tester i den typ av tuffa förhållanden som kan erbjudas i Skellefteå under en del av året.

Projektet har skrivit ett antal NDA:s med utvecklare av eVTOLs och stöttande infrastruktur.

### **Utbildning av piloter**

En del av ekosystemet kommer att utgöras av de som ska flyga framtidens eVTOLs, både som piloter och som övervakare från marken. Det kommer även att krävas ny kompetens kopplat till service och underhåll av farkoster och system.

Flera bedömare förutspår att den framväxande industrin kopplad till eVTOL och drönaroperationer kan kräva upp till 60 000 piloter/operatörer redan 2030. Detta motsvarar 17 procent av de kommersiella piloter som var aktiva under 2018. Beräkningarna innehåller mängder av antaganden och osäkerheter men oavsett de exakta siffrorna tyder det på ett betydande behov av en ny typ av piloter och operatörer om eVTOL- och drönartrafik ska bli verklighet.



Vid Skellefteå Airport driver företaget Green Flight Academy en kommersiell pilotutbildning. En betydande del av utbildningen görs med det eldrivna flygplanet Pipistrel Velis Electro. Detta innebär kompetens kopplad till elektrifierad luftfart skapar intressanta utvecklingsmöjligheter framöver.

## Sammanfattning och slutsatser

- Kommersiell trafik blir dyr, speciellt i inledningen
- Låg kapacitet sett till transportsystemet i stort
- Kostnader för initiala tester är begränsade
- Betydande kostnader för markinfrastruktur och laddning
- Stort behov av tester

Samtidigt som det går att hitta spännande användningsområden för eVTOL så går det också att hitta ett stort antal utmaningar, inte minst kopplat till affärsmodeller och lönsamhet.

En annan utmaning är markinfrastrukturen som är en nödvändig del för att möjliggöra en integration av eVTOL-trafik med nuvarande mobilitetssystem och strukturer. Det som gör arbetet komplicerat är att de system och strukturer som

finns idag runt mobilitet i sin helhet genomgår en förändring där elektrifiering av fordon, vätgas och autonom drift är teknologier som påverkar helheten och samhällsplaneringen kring mobilitet. Utvecklingen av drönare är ytterligare en faktor att ta med i beräkningen då den teknologin till viss del hänger samman med utvecklingen av eVTOLs för passagerartransport.

En iakttagelse är att utveckling när det gäller markinfrastruktur, regelverk, kommunikationssystem och systemintegration går långsammare än tekniken när det gäller farkoster. Detta kan bero på frågans komplexitet där en mängd olika aktörer behöver samarbeta. Samtidigt kan noteras att även utvecklingen av farkoster går något långsammare än vad många räknat med. Vägen till kommersiellt godkända farkoster innehåller en stor mängd steg där säkerhet har högsta prioritet. Den långa processen med test och utveckling är kostnadskrävande samtidigt som den kommersiella potentialen fortfarande är osäker.

Utveckling är till stor del i ett tidigt skede och inga eVTOLs för passagerare är ännu certifierade för kommersiell trafik. EASA tar fram riktlinjer för hur eVTOL ska kunna certifieras och ser över regelverk för hur dessa nya typer av farkoster ska få framföras i bebyggda miljöer. Projektet har påvisat ett behov av att nyttja denna form av teststräcka för fortsatt test- och utvecklingsverksamhet inom eVTOL-området under lång tid framöver.

## **AP 4 Elektromagnetisk interferens från laddningssystem för eldrivna luftfartyg med utgångspunkt i eVTOL**

### **Litteratur och standarder**

Under projektets gång har omfattande arbete lagts i syfte att skapa en överblick samt förståelse för de standarder och regelverk som är applicerbara rörande elektromagnetiska emission och immunitet för laddning och drift av elektriska flygplan. Resultaten sammanfattas nedan med fokus på de regelverk som berör den nationella samt den gemensamt reglerade europeiska arenan. Mer information samt bakgrund avseende den pågående utvecklingen av elektriska flygmaskiner återfinns i bilagor.

### **Certifiering av flygmaskiner**

Flygmaskiner, såväl konventionella samt elektrifierade, utprovas under utveckling och certifiering enligt mycket väl styrda och detaljerade regelverk. I Europa är Europeiska unionens byrå för luftfartssäkerhet (EASA) sedan 2003 ansvarig för certifieringen av flygplan i EU och vissa europeiska länder utanför EU. Under

2018 publicerades förordningen (EU) 2018/1139 som grundförordning för att upprätta EASA som tillsynsorganisation samt för att fastställa gemensamma regler för civil luftfart, varvid den ersatte bland andra (EG) nr 216/2008<sup>2</sup>. I (EU) 2018/1139 beskrivs, bland mycket annat, ett gemensamt system för certifiering, tillsyn och kontroll av efterlevnad.

Tillämpningen av 2018/1139 beskrivs bland annat i förordning (EU) 748/2012<sup>3</sup>. En i detta projekt viktig del av 748/2012 är Bilaga I, Del-21, som beskriver certifiering av luftfartyg och tillhörande produkter, delar och anordningar samt av konstruktions- och tillverkande organisationer. Denna är uppdelad i avsnitt A – Tekniska krav och avsnitt B – Rutiner för behöriga myndigheter. Avsnitt A är organiserat i flera underdelar medan kapitel B beskriver åtgärderna för att få ett typcertifikat (TC) eller ett begränsat TC för ett luftfartyg. Ett giltigt TC eller begränsat TC krävs för att flygplanet ska kunna användas i civilt luftrum. För att få ett TC måste tillverkaren bland annat följa gällande certifieringsunderlag för flygplanstypen såsom CS-25 för stora flygplan och CS-23 för flygplan i normal kategori<sup>4</sup>.

I syfte att stödja industrin med standardiserade sätt att uppfylla de regelverk om tecknas av EASA arbetar European Organisation for Civil Aviation Equipment (EUROCAE) med standarder för både luftburna och markbaserade system och utrustning<sup>5</sup>. Standarden ED-14G definierar omfattande förhållanden miljötester och tillämpliga testprocedurer för luftburen utrustning<sup>6</sup>. ED-14G ger vägledning för att bestämma prestandan hos luftburen utrustning i scenarier som representerar verkliga förhållanden. Dokumentet innehåller 26 avsnitt, bland dem avsnitt 15-23 som specifikt handlar om EMC-tester såsom genomförd känslighet och utstrålad emission. Inom ramen för ED-14G finns det ytterligare två andra standarder som är dedikerade till EMC. EUROCAE ED-248 tillhandahåller vägledning och testmetoder för elektriska och elektroniska system på civila flygplan<sup>7</sup>. Den

---

<sup>2</sup> Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/1139 av den 4 juli 2018 om fastställande av gemensamma bestämmelser på det civila luftfartsområdet och inrättande av Europeiska unionens byrå för luftfartssäkerhet, och om ändring av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 2111/2005, (EG) nr 1008/2008, (EU) nr 996/2010, (EU) nr 376/2014 och direktiv 2014/30/EU och 2014/53/EU, samt om upphävande av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 552/2004 och (EG) nr 216/2008 och rådets förordning (EEG) nr 3922/91.  
<http://data.europa.eu/eli/reg/2018/1139/oj>, besökt 2022-12-16.

<sup>3</sup> Kommissionens förordning (EU) nr 748/2012 av den 3 augusti 2012 om fastställande av tillämpningsföreskrifter för luftvärdighets- och miljöcertifiering av luftfartyg och tillhörande produkter, delar och anordningar samt för certifiering av konstruktions- och tillverkningsorganisationer. <http://data.europa.eu/eli/reg/2012/748/oj>, besökt 2022-12-16.

<sup>4</sup> EASA CS-23 Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Aeroplanes. <https://www.easa.europa.eu/en/certification-specifications/cs-23-normal-utility-aerobatic-and-commuter-aeroplanes>, besökt 2022-12-16.

<sup>5</sup> The European Organisation for Civil Aviation Equipment, <https://www.eurocae.net/>, besökt 2022-11-26.

<sup>6</sup> Environmental conditions and test procedures for airborne equipment, EUROCAE ED-14G, 2015.

<sup>7</sup> Guide to civil aircraft electromagnetic compatibility, EUROCAE ED-248, 2018.

innehåller både ledningsbundna och utstrålade emissioner som genereras av installerade system på ett flygplan men täcker inte interaktion med externa elektromagnetiska miljöer. Den andra standarden är EUROCAE ED-90B<sup>8</sup>, vilken ger ytterligare information samt förtydligande av testprocedurer.

De ovan beskrivna dokumenten berör i huvudsak delsystem i flygmaskinen, samt den interaktion som dessa delsystem har med varandra. Även påverkan av utifrån kommande störningar på flygmaskinen berörs. Noterbart är dock att en helhetsbild av flygmaskinen som emissionskälla saknas. Detta konstaterades redan år 2000 i rapporten CLC(SG)819 från det europeiska standardiseringsorganet CENELEC<sup>9</sup>.<sup>10</sup> Därifrån dras slutsatsen att en flygmaskin som uppfyller gällande certifieringskrav enligt ED-14 och betraktas som en apparat troligen kan uppfylla de emissionskrav som ställdes av den numera obsoleta generiska EMC standarden EN 50081-2<sup>11</sup>. Detta är dock inte påvisat genom mätningar, utan endast via jämförelser med systemkrav enligt ED-14. Introduktionen av helt elektriska flygmaskiner samt elektrifierade drönare av större och mindre modeller har sedan skrivandet av CLC(SG)819 i hög grad ökat innehållet av potentiellt störningsalstrande kraftelektronik i flygmaskinerna, vilket riskerar att öka de elektromagnetiska emissionerna. Denna utmaningen i detta identifieras också i det nyligen publicerade pappret "Problems related to EMC caused by low-altitude flying drones in urban environment"<sup>12</sup>. Därifrån dras slutsatsen att utökad testning kan minska risken för störningar i radiosystem.

## EMC-direktivet

Frågan om elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) regleras inom EU i sin senaste version av europaparlamentets och rådets direktiv 2014/30/EU<sup>13</sup>. Därifrån framgår i Bilaga 1 (Väsentliga krav) att de allmänna kraven är att:

*“Utrustning ska med beaktande av aktuell tillämpbar teknik vara så konstruerad och tillverkad att*

*a) den elektromagnetiska störning den alstrar inte överskrider den nivå över vilken radio- och teleutrustning eller annan utrustning inte kan fungera som avsett,*

---

<sup>8</sup> Radio frequency susceptibility test procedures, EUROCAE ED-90B, 2010.

<sup>9</sup> <https://www.cenelec.eu/>

<sup>10</sup> Report on civil aircraft and incorporated equipment covering the technical specifications and related conformity assessment procedures, regional or international, in relation to electromagnetic compatibility, CENELEC report CLC(SG)819, Edition 5, 2000.

<sup>11</sup> Electromagnetic compatibility - Generic emission standard - Part 2: Industrial environment, EN 50081-2: 1993 (withdrawn)

<sup>12</sup> Problems related to EMC caused by low-altitude flying drones in urban environment, <https://www.researchgate.net/publication/362431119>, 2022.

<sup>13</sup> Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/30/EU av den 26 februari 2014 om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet



*b) den har en sådan tålighet mot den elektromagnetiska störning som kan förväntas vid avsedd användning att dess avsedda funktion inte i oacceptabel utsträckning försämras.”*

Därutöver anges som särskilda krav för fasta installationer att:

*“Installation och avsedd användning av komponenter: En fast installation ska installeras enligt god branschpraxis och i enlighet med informationen om hur dess komponenter är avsedda att användas för att uppfylla de väsentliga kraven enligt punkt 1.”*

Dock konstateras också i 2014/30/EU att

*“Flygplan och utrustning som är avsedd att byggas in i flygplan bör inte omfattas av detta direktiv, eftersom de redan är föremål för särskilda unionsbestämmelser eller internationella bestämmelser om elektromagnetisk kompatibilitet”*

samt att

*“Detta direktiv ska inte tillämpas på... // ... luftfartsprodukter, delar och anordningar som avses i Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 216/2008... “.*

Utifrån ovanstående kan konstateras att EMC rörande flygplan enbart har att hanteras i relation till de certifieringsrutiner och dokument som diskuterades i föregående sektion. Det kan också konstateras att laddare till flygmaskiner bör anses reglerade under 2014/30/EU; antingen som apparat eller som fast installation.

## **EMC-standarder**

I syfte att tillhandahålla villkor, mätmetoder och gränser för uppfyllande av EMC direktivet har det skapats frivilligt applicerbara standarder som tillverkare har möjlighet att förhålla sig till och använda. Dessa berör utstrålad såväl som ledningsbunden immunitet och emission. Standarder finns som grundläggande, generiska och produktspecifika, samt tillhandahålls internationellt såväl som regionalt och nationellt.

På global nivå utvecklas och publiceras standarder av International Electrotechnical Commission (IEC)<sup>14</sup>. För frekvenser över 9 kHz arbetar inom IEC International special committee on radio interference (CISPR)<sup>15</sup>. På Europeisk nivå publiceras standarder av standardiseringsorganisationer såsom European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)<sup>16</sup>.

<sup>14</sup> <https://www.iec.ch/homepage>, visited 2022-12-17.

<sup>15</sup> <http://www.iec.ch/cispr>, visited 2022-12-17

<sup>16</sup> <https://www.cenelec.eu/>, visited 2022-12-17

CENELEC är en av tre europeiska standardiseringsorganisationer (tillsammans med CEN och ETSI) som har erkänts officiellt av Europeiska unionen och av European Free Trade Association (EFTA) som ansvariga för att utveckla och definiera frivilligt applicerade standarder på europeisk nivå. EMC-standarder publicerade av CENELEC börjar med bokstäverna EN (European Norm) och är direkt relaterade till de internationella IEC standarderna.

Det föreligger idag ingen produktspecifik EMC standard för laddningsutrustning för flygplan. En parallell kan dock dras till den produktspecifika standarden EN (IEC) 61851-21, "Elbilsdrift – Konduktiv laddning – Del 21-2: Fordringar på fordonet – EMC-fordringar vid laddning med laddare utanför fordonet". Där specificeras immunitets samt emissionskrav, samt hur dessa skall uppmätas. Likaledes föreligger ingen specifik standard för flygplatsmiljöer, men det finns beröringspunkter. IEC-standarderna 61000-6-4: *Generiska standarder - Emissionsstandard för industriella miljöer* betraktar högspänningsområden på flygplatser som industriella miljöer. IEC och EN standarden 61000-6-8: *Generella fordringar - Emission från utrustning för yrkesmässigt bruk i kontor, butiker och liknande miljöer* klassificerar offentliga områden på en flygplats som kommersiella eller lätta industriella miljöer.

I Sverige slår Luftfartsverket fast att: "De områden som tillhör LFV eller där LFV ansvarar för ATS-, C-, N- eller S-tjänst, exempelvis flygledningstorn, terminalbyggnader på flygplatser och friliggande anläggningar, ska betraktas som kontor/lätt industri i enlighet med omfattningen av EU-standarderna EN 61000-6-3:2006 avseende emission, och EN 61000-6-1:2016 avseende immunitet."<sup>17</sup> Därmed torde, för svensk tolkning, laddare för elektriska flygplan avseende emission vara att bedöma enligt standarden EN (IEC) 61000-6-3, "Generella fordringar - Emission från utrustning i bostäder, kontor, butiker och liknande miljöer".

## Mätningar

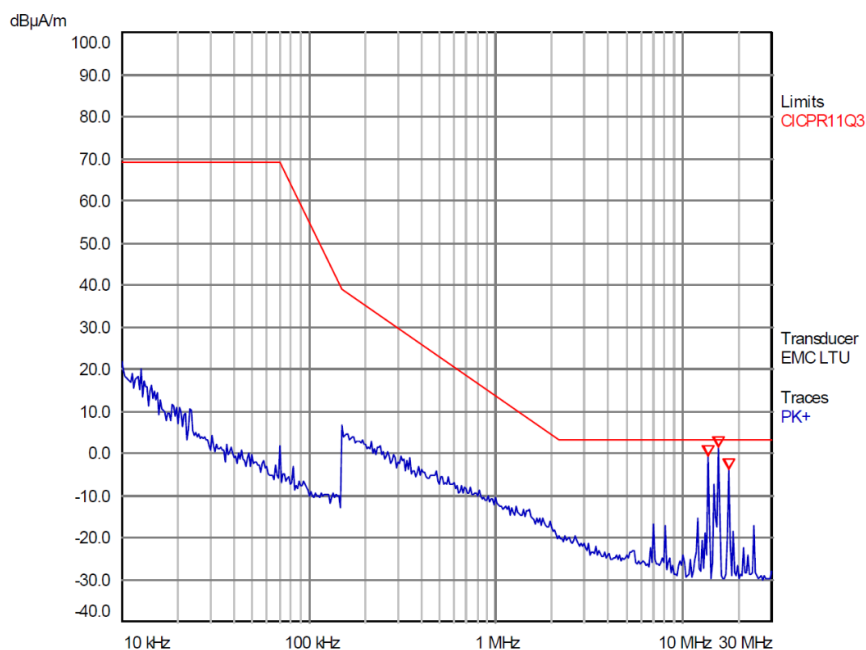
Som beskrivits ovan under Genomförande så utfördes under projektets gång ett flertal olika mätningar av utstrålad samt ledningsbunden emission vid laddning såväl som drift av lätta elektriska flygplan. Nedan presenteras ett litet urval av mätresultat vilka ligger som bas för efterföljande diskussion.

### Utstrålad emission, 10 kHz - 30 MHz

I frekvensområdet 10 kHz - 30 MHz mättes utstrålad emission med magnetisk loopantenn. Bakgrundsmätning enligt nedn visar aktivitet i spektrum framför allt mellan 10 - 30 MHz. Bidragande till detta är troligen amatörradioband i dessa frekvensområden. Steget i brusgolvet vid ca 130 kHz är en instrumentrelaterad artefakt.

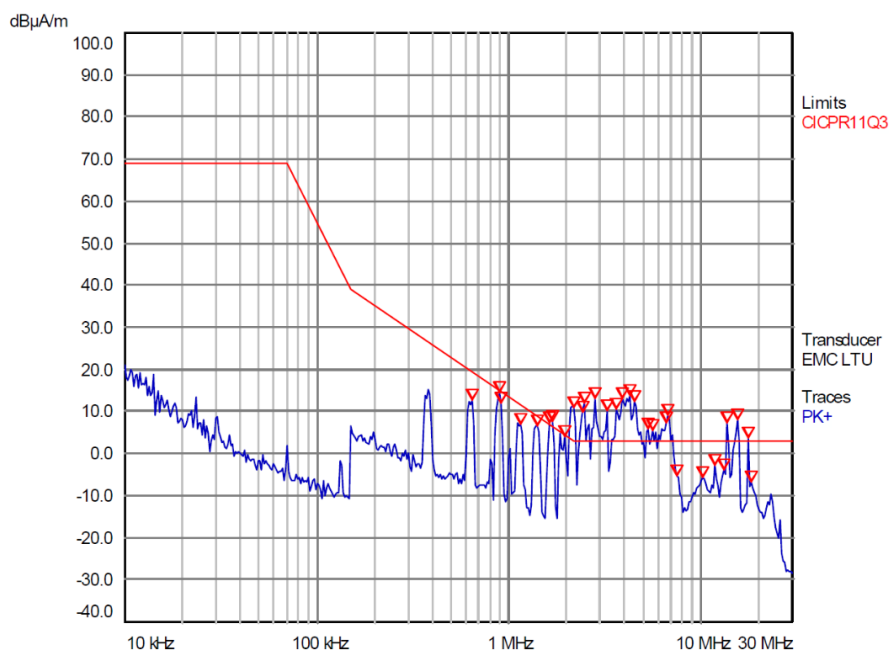
---

<sup>17</sup> LFV dnr D-2019-180671, 2019.



**Bakgrundsmätning 10 kHz - 30 MHz, horisontell loopantenn.**

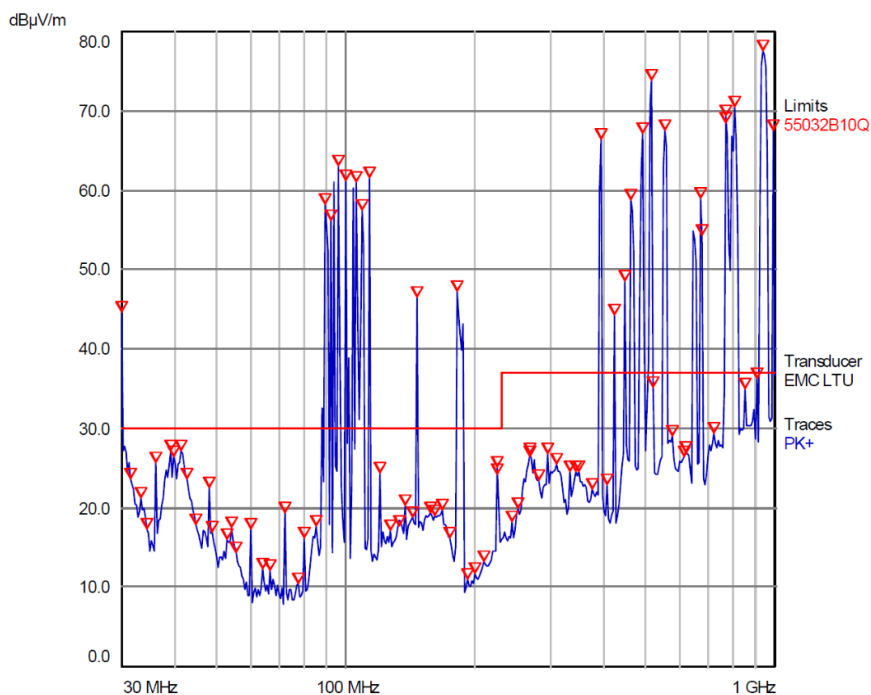
Nedan visas spektrum under laddning med ca 19 kW, mätt 3 m från laddare. Därvid framgår en tydlig ökning i hela bandet från 350 kHz och uppåt.



**Laddning med 19 kW, antenn horisontell placerad 3 m från laddare.**

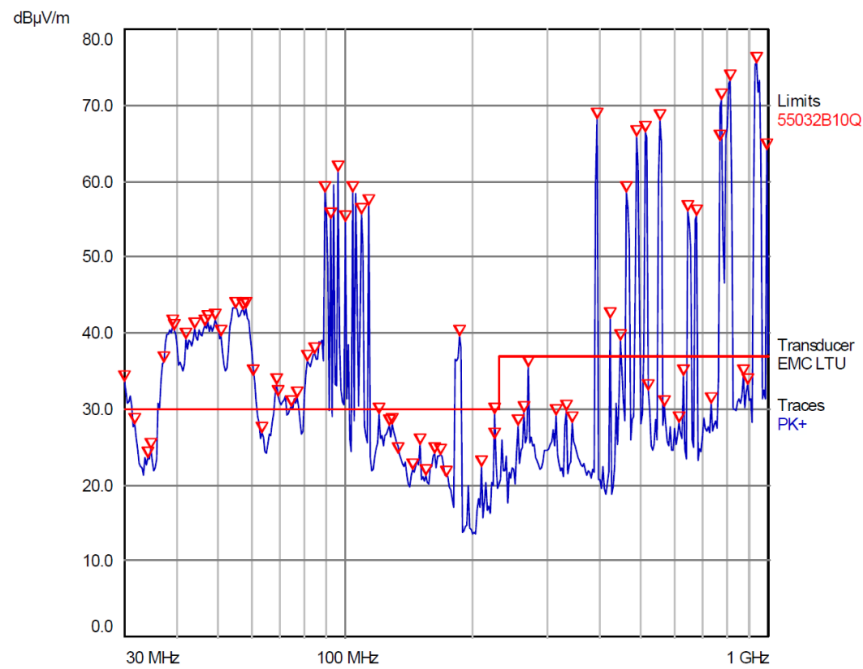
### Utstrålad emission, 30 MHz - 1 GHz

Ett stort antal mätningar genomfördes på utstrålad emission i frekvensområdet 30 MHz - 1 GHz, med vertikal såväl som horisontell polarisation. Nedan visas ett exempel på bakgrundsmätning. I denna syns tydligt ett stort antal radiosändare samt kommunikationskanaler inom flera frekvensband. Noterbart är dock att "golvet" i mätningen ligger med viss marginal under de gränsvärden som stipuleras av EN 55032.



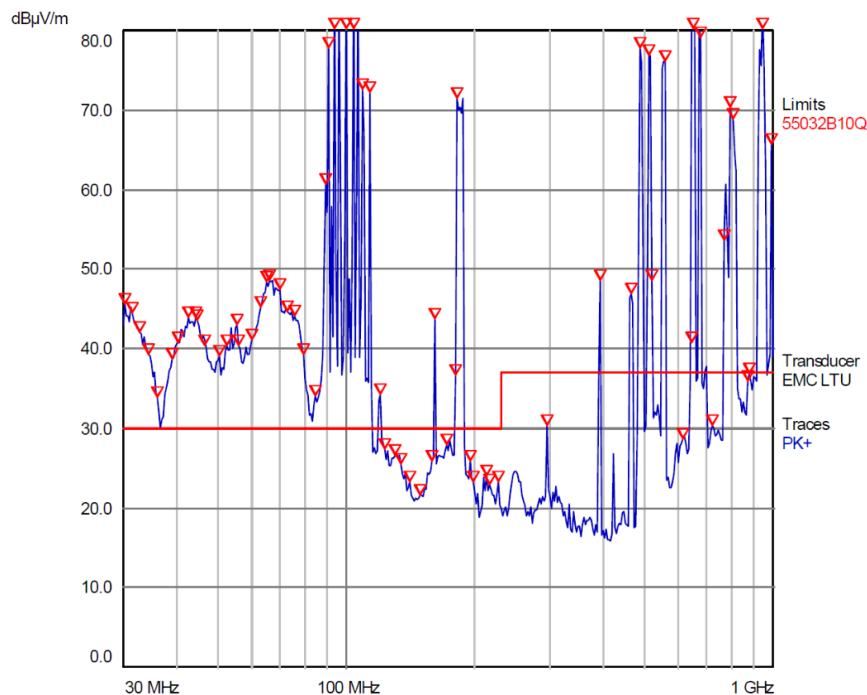
**Bakgrund 30 MHz - 1 GHz, vertikal polarisation.**

Ett exempel på mätning under laddning visas nedan. Härvid kan noteras en mycket tydlig ökning av "golvet" i spektrat från ca 35 MHz upp till ca 150 MHz. De uppmätta nivåerna kan inom flera frekvensband ses överstiga de gränsvärden som sätts enligt EN 55032.



**Laddning med 32 A. Antenn 10 m från laddare, vertikal polarisation.**

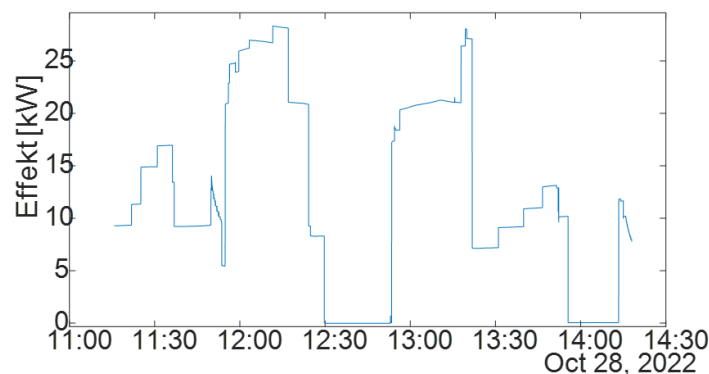
Mätning i frekvensområdet 30 MHz - 1 GHz gjordes även vid drift av flygmaskinen. Ett exempel visas nedan, uppmätt vid lågt effektuttag (5 kW). Även vid denna mätning kan observers att “golvet” i spektrat under 100 MHz på ett tydligt sätt förskjuts uppåt vilket medför att gränsvärden enligt EN 55032 överskrids. Vid mätningar på drift av flygmaskinen konstaterades vidare att spektrats utseende i stort förblir oförändrat vid olika effektuttag (låg - mellan - hög) på flygmaskinen.



**Drift av flygmaskin, låg effekt på motor (5 kW).  
Antenn 10 m från flygmaskin, horisontell polarisation.**

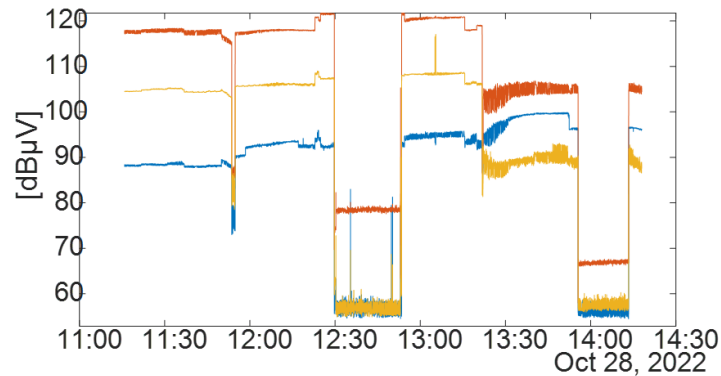
### Ledningsbunden emission

Fokus för mätningen av ledningsbunden emission var frekvensområdet mellan 2 och 150 kHz, det s.k. supratonsområdet. Mätningen utfördes under en dag då laddningen skedde intermittent så även perioder utan laddning uppmättes. Ett flertal frekvenskomponenter förekommer i spänningen, med de dominerande frekvenskomponenterna runt 133 kHz under perioder av laddning. I figur nedan kan ses hur effekten varierar när planen laddas och går ner till noll när laddningen upphör.



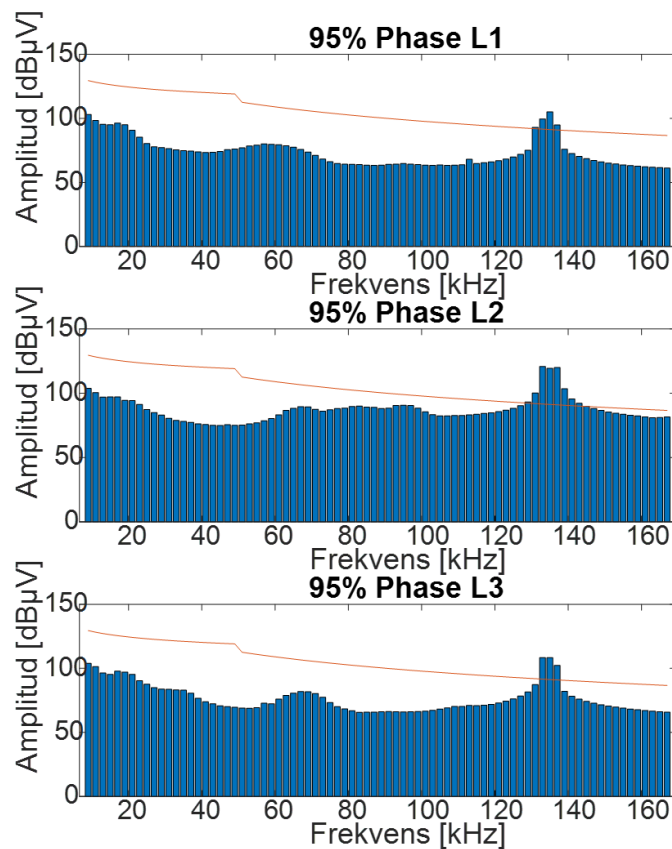
**Effektuttag under perioder av laddning samt icke laddning.**

Nedan visas komponenten vid 133 kHz i spänningen för de tre faserna och där ses hur amplituden abrupt sjunker när laddningen upphör. Detta gör det troligt att denna frekvenskomponent har sitt ursprung i laddinfrastrukturen.



**Komponent vid 133 kHz i uppmätt spänning.**

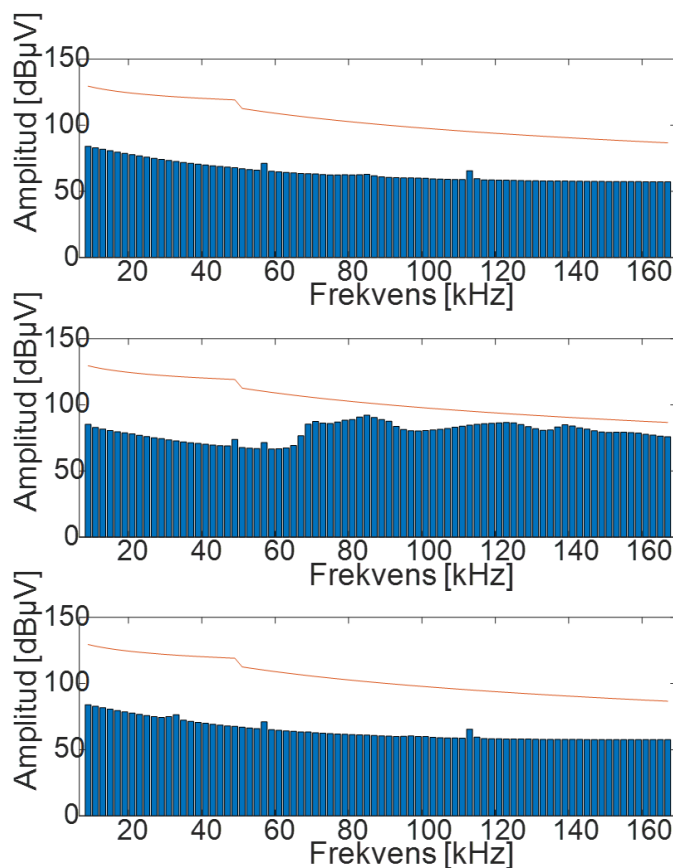
Kompatibilitetsnivåer för frekvensområdet 2 till 170 kHz återfinns i standarden IEC 61000-2-2 appendix 1 och 2 gällande spänning i lågspänningsnät. De uppmätta spänningarna jämfördes mot kompatibilitetsnivåerna och resultaten visas nedan. 95 % värdet av nivåerna runt 133 kHz överskrider kompatibilitetsnivåerna vilket kan översättas i en ökad risk för interferens.





**Frekvensspektrum matande spänning för de tre faserna under laddning.  
Röd heldragen linje motsvarar kompatibilitetsnivån i IEC 61000-2-2**

I figur nedan visas nivåerna i de tre faserna under en period utan laddning. Här syns inte längre komponenterna runt 133 kHz.



**Frekvensspektrum matande spänning för de tre faserna utan laddning.  
Röd heldragen linje motsvarar kompatibilitetsnivån i IEC 61000-2-2.**

### Nätverk och fortsättning

Arbetet i AP4 har som beskrivs under genomförande presenterats samt uppmärksammats i ett flertal olika forum. Denna synlighet tillsammans med fördjupad kunskap från AP4 har skapat mycket bra kontakter samt möjligheter till fortsatt arbete i området. Tre konkreta utfall presenteras nedan i korthet.

## Projektet Grön Flygplats

är ett klimatprojekt där de regionala flygplatserna i Sverige arbetar för ett hållbart resande<sup>18</sup>. Man jobbar för klimatsmarta flygplatser, ett fossilfritt inrikesflyg 2030 och ett helt fossilfritt svenskt flyg 2045. Projektet är fyraårigt med stöd från Europeiska regionala utvecklingsfonden. LTU har under hösten 2022 haft dialog med projektledaren. I november genomfördes inom ramen för Grön flygplats av LTU mätningar på de solcellsanläggningar som finns monterade på Kalmar flygplats. Mätningarna genomfördes i syfte att undersöka elektromagnetisk emission. Forskare från LTU deltog också under December i ett möte samt studiebesök som Grön Flygplats anordnat vid flygplatsen i Groeningen, Holland. Syftet med besöket var att skapa mer kunskap runt hur man vid denna flygplats har agerat när man byggt upp den därvid placerade stora solcellsinstallationer. En stor delegation från Sverige var närvarande, och ett tydligt intresse och fokus föreligger på frågor runt elektromagnetisk emission och kompatibilitet. Deltog gjorde, utöver LTU, representanter från bland andra ett flertal regionala flygplatser, Swedavia, Forsvarsmakten, Transportstyrelsen samt Trafikverket.

## EMC för den autonoma flygplatsen

Vinnova beviljade den 16/11 2022 projektet “*Elektromagnetisk interferens och kompatibilitet för den autonoma flygplatsen*”<sup>19</sup>. Projektet leds av LTU, och samlar ett brett konsortium med deltagare från Luftfartsverket, Aviseq Critical, Communication AB, ib vogt AB, Luftfartsverket, Örnsköldsvik Airport AB, Skellefteå City Airport AB, Swedavia samt Combitec AB. Projektet är en genomförbarhetsstudie som breddar frågan om elektromagnetisk kompatibilitet i flygplatsmiljö och samlar ett flertal nyckelaktörer. Syftet är att förstå samt hantera EMI/EMC i flygplatsmiljö kopplat till införandet av elflyg och elektrisk infrastruktur, t.ex solenergi, samt autonoma system, maskiner och apparater. Målet är att skapa ett fundament för vidare arbete med autonomi och elektrifiering i flygplatsmiljö där EMI och EMC frågor är integrerade delar. En viktig aspekt är skapandet en tydlig och kvantitativ kravbild på EMI/EMC i flygplatsmiljö, både avseende toleransnivåer samt vilka krav som bör ställas på olika aktörer och system. Även rutiner och arbetssätt avseende kravställning och uppmätning för flygplatser såväl som för på flygplatserna operativa och använda system och apparater kommer att beaktas.

---

<sup>18</sup> <https://gronflygplats.se/>, visited 2022-12-18.

<sup>19</sup> Elektromagnetisk interferens och kompatibilitet för den autonoma flygplatsen, Vinnova dnr 2022-02669, 2022-11-16

## Testbädd för EMC hos elflyg

LTU lämnade i slutet av november 2022 till Energimyndigheten in ansökan “Genomförbarhetsstudie - Testbädd för elektromagnetisk kompatibilitet hos elflyg”. Projektet är en genomförbarhetsstudie som söks i samarbete med Green Flight Academy AB, Katla Aero AB, Skellefteå City Airport AB samt Science City Skellefteå AB. Genomförbarhetsstudien avses utreda möjligheter att etablera en testbädd i Skellefteå för elektromagnetisk kompatibilitet hos elektriska flygplan, eVTOLs, drönare samt därtill kopplade elektrifierade drivlinor och laddningsinfrastruktur. Syftet med projektet är att bidra till en snabbare elektrifiering av transportsektorn, där elektrifiering av flyg är en central del för att nå minskade växthusgaser och hållbar transportförsörjning. En testbädd kan komplettera pågående satsningar rörande elflyg i kallt klimat, bidra till utveckling av ny teknik, samt stärka kompetens och svensk konkurrenskraft inom området. Ansökan fick i Januari 2023 ett positivt besked i en beslutsindikation från Energimyndigheten.

## Diskussion

Genom arbetet har projektet fått fram kunskap kring vad som krävs på marken och i lufrummet samt hur tillståndsprocesserna ser ut för att få testverksamhet att fungera i praktiken. Projektet har även analyserat vilka kostnader som kan tänkas uppstå när man inleder kommersiell trafik men även vilka kostnader som är förknippade med testverksamhet. Projektet har även syftat till att öka kunskapen om de elektromagnetiska störningar som kan uppstå när delar av flygtrafiken elektrifieras.

I ett energisammanhang kan konstateras att energibehovet bedöms vara relativt begränsat för laddning av eVTOL-farkosterna. Indikativt handlar det om en snabbbladdare med ca 350 kW effekt för att ladda en större eVTOL. Även om det skulle uppstå behov av samtidigt snabbbladdning av två till tre farkoster samtidigt på en vertiport så handlar det alltså om ett effektbehov under 1MW. Detta är hanterbart i flera miljöer och går också att hantera med hjälp av mobila eller stationära energilager. Dock innebär laddlösningarna en avsevärd kostnad som behöver hanteras.

På samhällsnivå finns det fortfarande flera frågetecken kring bl.a. buller och acceptans. Även om farkosterna är relativt tysta så genererar de buller. När detta sker i tidigare tysta miljöer kommer det troligtvis att upplevas som störande. Hur buller från eVTOL i bebyggda områden ska hanteras behöver utredas och studeras vidare. Detta kommer att påverka var och hur start- och landningsplatser kan placeras, frekvens på antalet rörelser, var flygkorridorer dras m.m. Detta innebär bl.a. att offentliga aktörer, inklusive kommuner, måste involveras på ett tidigt stadium i utvecklingen.

Projektet har visat att eVTOL-transporter kan vara ett energieffektivt och tidsmässigt konkurrensmässigt transportsätt för både privata, offentliga och samhällsnyttiga transporter. Initial trafik kommer dock att bli dyr vilket riskerar att begränsa potentialen och även göra att olika former av stöd eventuellt kommer att behövas. Detta bör troligtvis riktas mot kapitalkostnaderna i form av investeringarna i markinfrastruktur och farkoster. Kapaciteten i ett eVTOL-nätverk kommer att vara begränsad på grund av farkosternas begränsade storlek. Det innebär att överflyttningen från andra, potentiellt mer energikrävande, transportlösningar kommer att vara begränsad.

Projektet bedömer att luftrumfrågorna går att hantera om farkosterna flygs med pilot vilket kommer att vara fallet i inledningen. För autonom drift finns ännu inget regelverk på plats samtidigt som detta är helt beroende av avancerade sensorer, radar, höghastighetsuppkoppling, positioneringsverktyg m.m. med ytterst stabila och kraftfulla prestanda. Projektet har även visat att det finns utmaningar kring robustheten i kyla och i tuffa väderförhållanden och att det blir viktigt att testa och utveckla ekosystemet i verkliga förhållanden.

När det gäller testverksamhet finns inga enhetliga eller standardiserade tillståndprocesser utan varje enskilt testprojekt kräver ett specifikt tillstånd. Kostnaden för detta kan variera stort beroende på farkostens specifikationer och tänkt flygprogram och projektet har konstaterat att det krävs betydande investeringar för att möjliggöra mer omfattande testflygningar. Ett nära samarbete med Transportstyrelsen är centralt i detta sammanhang. Projektet har byggt kunskap och tagit fram underlag gällande den aktuella teststräckan vilket kan återanvändas i framtida ansökningar om tester.

Utbildning av piloter och övrig kompetens i ekosystemet kommer också att vara kritiskt. Det är ett komplext ekosystem som behöver fungera och samverka mellan flera olika parter kommer att vara centralt både för mer omfattande tester och för kommersiell implementering av eVTOL-trafik. Utbildning, kunskap och kompetens kopplat till service och underhåll kommer att vara av stor vikt för att få ett robust system.

När det gäller de elektromagnetiska frågeställningar som hanterats i projektet kan det initialt konstateras att frågan om EMC för laddare till elektriska flygplan under projektets gång har visat sig mer komplex samt ha mycket mer förgreningar än vad som förutsågs innan projektet startades. Det är tydligt att det ej går att isolera enbart laddare som emissionskälla i detta syfte, utan att flygmaskin och laddare måste betraktas som ett system. Det är också tydligt att frågan intresserar samt engagerar många parter, något som påvisas av den stora spridning som arbetet har fått, och av de uppföljande projekt som i nuläget är initierade. Det har också under projektets gång tydliggjorts att frågan om EMC som en parameter i den nu pågående elektrifieringen är relevant i många sammanhang utöver flygplatsmiljö. Härvidlag kan nämnas elektrifierade fordon och deras laddsystem, elektriska vägar, samt solcellsanläggningar; där alla dessa system har potential till stor påverkan på den elektromagnetiska miljön. Frågan har senast diskuterats i ett seminarium inom Swedish Electromobility Center, med deltagande från ett flertal parter, däribland Försvarmakten.

Utifrån inom projektet genomförda mätningar kan konstateras att emission från såväl laddning som drift av elektriska flygplan på ett tydligt sätt utmanar de generella regelverk och gränsvärden som idag refereras till i flygplatsmiljö. Flygmaskinen samt dess laddare är idag inte specificerade samt uppmätta som en emissionskälla på systemnivå, och det saknas standarder för denna typ av system. Samtidigt gäller likväl det övergripande EMC direktivet, med andemening att utrustning som installeras och/eller används ej får störa annan utrustning. En slutsats av detta konstaterande är att det rörande installationer av laddutrustning, såväl mobil som fast installerad, samt rörande drift av elektriska flygplan, föreligger ett behov om tydlighet samt framtagande av systemspecifika normer och standarder. Ett exempel från ett relaterat område är emission från bilar, vilket kravställs och uppmäts enligt normerna EN55012 samt EN55036. Härvid bedöms som nödvändigt att synkronisering och harmonisering sker med det arbete som idag utförs av olika aktörer rörande specifikation och kravställning i flygplatsmiljö. Detta arbete bör göras i närtid, då det om det inte finns tydlighet i kravbilder kan komma att etableras utrustning på marknaden som har potential att i förlängningen störa operationerna i flygplatsmiljö. Samtidigt är det viktigt att emissionskraven är satta på så höga nivåer som möjligt, i och med att för hårt specificerade målbilder kan skapa svårigheter för tillverkare att möta dessa krav.

Situationen går att jämföra med utvecklingen av solcellsparker vid flygplatser, där oförutsedda problem med emission och störningar från solcellsanläggningar visade sig skapa störningar på kommunikation vid flygplatserna.

Detta projekt hade initialt ambitionen att inom projektet fastställa hur denna typ av uppmätningar skulle göras och kravställas. Utifrån den komplexitet som frågan har så har det under projektets gång visat sig att den kunskap som inhämtats istället har kommit att fungera som bas för fortsatta projekt som arbetar med dessa frågor. Två av dessa projekt drivs under 2023 i samarbete med ett flertal parter.

## Referenser i urval

<https://assets.evtol.com/wp-content/uploads/2021/07/eVTOL-Basics-For-Investors.pdf>

[Advanced Air Mobility Reality Index](#)

[Final approach: How airports can prepare for advanced air mobility | McKinsey](#)

<https://www.flyingmag.com/evtol-air-taxi-passenger-prices/>

<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/The-high-flying-industry-Urban-Air-Mobility-takes-off.html>

<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/speeding-up-everyday-travel-lilium-prepares-for-takeoff>

<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/The-Advanced-Air-Mobility-Commercial-Certification-Guide-2022.html>

<https://www.mckinsey.com/featured-insights/the-next-normal/air-taxis>

<https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/up-in-the-air-how-do-consumers-view-advanced-air-mobility>

<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/to-take-off-flying-vehicles-first-need-places-to-land>

[https://www.nctcog.org/nctcg/media/Transportation/DocsMaps/Plan/Aviation/2021/1\\_2021-04-27-N-Texas-AAM-Micro-Demand-Assessment.pdf](https://www.nctcog.org/nctcg/media/Transportation/DocsMaps/Plan/Aviation/2021/1_2021-04-27-N-Texas-AAM-Micro-Demand-Assessment.pdf)

[https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/bah\\_uam\\_executive\\_briefing\\_181005\\_tagged.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/bah_uam_executive_briefing_181005_tagged.pdf)

<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf>

<https://eiah.eib.org/publications/attachments/a-market-assessment-report-on-the-urban-air-mobility-sector.pdf>

[Future flight challenge – UKRI](#)

[Comparing Use Cases for eSTOL and eVTOL Aircraft | Airflow](#)

<https://www.frost.com/news/press-releases/frost-sullivan-presents-the-evolving-urban-air-mobility-landscape-up-to-2040/>

<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Vertiports-The-fundamental-service-provider-to-the-Advanced-Air-Mobility.html>

<https://evtol.com/news/morgan-stanley-shifts-timeline-stays-bullish-evtol-urban-air-mobility/>

[https://assets.verticalmag.com/wp-content/uploads/2021/05/Morgan-Stanley-URBAN\\_20210506\\_0000.pdf](https://assets.verticalmag.com/wp-content/uploads/2021/05/Morgan-Stanley-URBAN_20210506_0000.pdf)

[https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205000636/downloads/2021-08-20-eVTOL-White-Paper-Final\\_V48.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205000636/downloads/2021-08-20-eVTOL-White-Paper-Final_V48.pdf)

[https://webassets.bv.com/2019-11/NASA\\_eVTOL\\_Electric\\_Infrastructure\\_Study.pdf](https://webassets.bv.com/2019-11/NASA_eVTOL_Electric_Infrastructure_Study.pdf)

## Bilagor

1. Administrativ bilaga
2. Aviation EMC
3. Literature Review
4. Test track for eVTOL 230215 (Powerpointpresentation från projektets slutseminarium)
5. KÄNSLIG INFORMATION - Rapport Skellefteå Airport - Northvolt KATLA
6. KÄNSLIG INFORMATION - Test Report Skellefteå
7. KÄNSLIG INFORMATION - paper draft (*Investigation on radiated emissions of electric aircraft at airports*)