



CHALMERS



IDLA – Persontrafik

Integrering av drönare och eVTOL för persontransporter i nuvarande flygplatser

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekanik

Ehsan Asgari Öhammar

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022

www.chalmers.se

IDLA – Persontrafik

Integrering av drönare och eVTOL för persontransporter i nuvarande flygplatser

© Ehsan Asgari Öhammar, 2022.

Rapportnummer 2022:04

Handledare: Mats Åberg, Swedavia

Examinator: Mats Andersson, Institution för mekanik och maritima vetenskaper

Examensarbete 2022

Institution för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers Tekniska Högskola

412 96 Göteborg

031-772 1000

Omslagsbild: grupp bild av den nya flygtrafiken, SMG Consulting

Sammanfattning

Utvecklingen av nya flygfarkoster som lyfter och landar vertikalt med mindre utsläpp av växthusgaser och buller går i rask takt framåt. Flera tillverkare är i färd med att certifiera sina farkoster de närmaste åren. Om den nya flygtrafiken ska kunna användas i Sverige så måste flygsektorn göra sig redo för att ta emot den. I det här arbetet har de tekniska och operationella kraven som ställs på det nya flyget och hur flygplatserna på bästa sätt ska integrera trafiken i den nuvarande flygplatsmiljön studerats. Arbetet är baserat på litteraturstudier och intervjuer med aktörer på den nya flygmarknaden.

Arbetet har börjat med att analysera den nuvarande marknaden och marknadsaktörerna och sedan granskat tekniken som används för att möjliggöra persontransporter med dessa farkoster. Ett fokus har lagts på Litium-jon batteritekniken och de hinder och möjligheter som finns. I studien har det visats sig att dagens batteriteknik inte är ett hinder för en marknadsintroduktion men för att få större kapacitet och räckvidd så krävs vidareutveckling av tekniken. Potentiella kandidater för avsevärt bättre kapacitet är batterier med kiselanoder och batterier med fast elektrolytmaterial(solid-state).

Efter genomförda intervjuer och workshops har det visat sig att det finns möjligheter och resurser för flygplatserna att integrera det nya flyget i sin verksamhet men det råder större ovisshet kring reglerna för det kontrollerade luftrummet kring flygplatserna. Certifieringsprocesserna och regelverken för farkosterna är tillräckliga för att tillverkarna ska kunna utveckla och certifiera sina farkoster men regler för alla andra aspekter av kommersiellt passagerarflyg med eVTOLs och drönare saknas fortfarande och väntas inte vara klart förrän 2024. Från en början så tror operatörer och tillverkare att flygplatserna kommer att spela en stor roll för det nya flyget då flygplatserna och dess personal besitter kunskap och har stor erfarenhet av passagerarflyg. Man har även en välutvecklad markinfrastruktur för att operera flygfarkoster. I ett senare skede tror operatörer och tillverkare att flygplatsernas roll kommer att vara mindre då som navet i en transportkedja till mer avlägsna mål utanför eVTOL och drönarens räckvidd.

Nyckelord:

Evtol, drönare, flygplatser, batteriteknik

Abstract

The development of new types of aircraft that start and land vertically with zero emission and noise is moving forward at a rapid pace. Several developers are in the process of certifying their aircraft in the next coming years. If these novel aircraft are to be used in Sweden, there must be preparations made by the flying industry. This thesis has studied the technical and operational requirements made by novel aircraft and what is the best manner for integrating them in to the already existing air-infrastructure. The thesis is based on literature research and interviewing actor in the airport market and actors who are active in this sector.

The thesis began with analyzing the market, the major developers of AAM(Advanced Air Mobility) and the technology being utilized the make personal transport with these aircraft a reality. A large focal point has been the Lithium battery technology(LIB) and the challenges and opportunities associated with LIBs. The research has shown that battery technology is not an obstacle for market introduction but to gain better capacity and range novel battery technology is required. Batteries with silicon anodes and solid state electrolytes has been identified as the next major breakthroughs that could propel AAM to new heights.

The results of the interviews and internal workshops has shown that there is a possibility to integrate AAM in to the current airports but there is great uncertainty regarding the regulations of the controlled airspace around airports. The certification procedures and rules are adequate for developing the aircrafts, but other aspects of operations are not codified yet and aren't expected until the year 2024. The developers and operators of AAM believe that airports will play a major role initially due to the presence of already existing air-infrastructure and knowledge of managing air traffic. The perception in the long run is that AAM will move away from major airports to more regional airports and independent vertiports.

Keywords:

Evtol , drones, airports, battery

Förord

Författaren vill rikta ett stort tack till min handledare Mats Åberg på Swedavia men även Patrick Manzi och Karin Gylín på Swedavia. Jag vill också tacka alla som har tagit sig tiden och ställt upp på intervjuerna och alla på Greenflyway för att jag har fått vara med och ta del av era samtal på forumen.

Terminologi och förkortningar

eVTOL	electric Vertical Take-Off and Landing
LIB	Lithium Ion Battery
IDLA	Integration of Drones to Larger Airports
BMS	Battery management system
SEI	Solid Electrolyte Interface
SOC	State of charge
LCO	Litium koboltoxid
LMO	Litium manganoxid
NMC	Litium nickel mangan koboltoxid
LFP	Litium järnfosfat
NCA	Litium nickel kobolt aluminiumoxid
LTO	Litium Titanoxid
MOTM	Maximum Take Off Mass
T/W	Thrust to Weight ratio
EASA	European Union Aviation Safety Agency
DAL	design assurance level
FAA	Federal Aviation Administration
AAM	Advanced Air Mobility
UAM	Urban Air Mobility
ARI	AAM Reailty Index
DEP	Distributed Electronic Propulsion
UTM	Unmanned Traffic Management

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	8
1.1	BAKGRUND	8
1.2	SYFTE	8
1.3	MÅL	8
1.4	AVGRÄNSNINGAR	9
2	TEORI	10
2.1	LITIUM-JON-BATTERIER	10
2.2	FLYGTEKNIK	13
2.3	CERTIFIERING OCH SÄKERHET	14
2.4	MARKINFRASTRUKTUR	15
2.5	SÄKERHET OCH ALLMÄN ACCEPTANS	16
3	METOD	16
4	GENOMFÖRANDE	17
4.1	MARKNADEN	17
4.1.1	<i>Företagspresentationer</i>	19
4.1.2	<i>Markinfrastruktur</i>	23
4.1.3	<i>Vertiports marknad och koncept</i>	26
4.2	TEKNIK	29
4.3	TEORIANALYS	30
4.3.1	<i>Lilium Jet</i>	30
4.3.2	<i>Beta Alia 250</i>	31
4.3.3	<i>Joby S4</i>	33
4.4	INTERVJUER	33
5	RESULTAT	34
5.1	LILIUM JET OCH BATTERITEKNIK	34
5.1.1	<i>Katodmaterial</i>	34
5.1.2	<i>Anodmaterial</i>	35
5.1.3	<i>Specifik kraft</i>	35
5.2	BETA ALIA 250	36
5.3	JOBY S4	36
5.4	INTERVJURESULTAT	37
5.4.1	<i>Generella frågor</i>	37
5.4.2	<i>Batteriteknik</i>	38
5.4.3	<i>Buller/miljö</i>	38
5.4.4	<i>Säkerhet</i>	38
5.4.5	<i>Affärsmöjligheter</i>	39
5.4.6	<i>Anpassningar från Swedavia</i>	39
6	ANALYS OCH DISKUSSION	40
6.1	TEKNIK	40
6.2	MILJÖ OCH SAMHÄLLE	41
6.3	FLYGPLATSINTEGRERING	42
6.3.1	<i>Airside</i>	42
6.3.2	<i>Landside</i>	43
6.3.3	<i>Landside remote</i>	43
6.4	HUR HAR ANDRA FLYGPLATSER/STÄDER GJORT?	44
7	SLUTSATS	45
8	KÄLLFÖRTECKNING	46
9	APPENDIX	50
9.1	INTERVJUFRÅGOR OCH SVAR	50

1 Inledning

Hösten 2016 släppte den globala persontransportjätten Uber en studie där det föreslogs att tekniken nu är mogen för att bygga en ny typ av flygfarkoster så kallade electric Vertical Take-Off and Landing (eVTOL) [1]. Farkosterna skulle liksom helikoptrar starta och landa vertikalt och i luften övergå till att flyga liksom flygplan med hjälp av vingarnas lyftkraft. Uber presenterade en vision om vad som var framtidens mobilitet där kunder skulle kunna beställa en resa på samma sätt som individer idag beställer en bilresa via appar i smartphones. I samband med lanseringen så presenterades ett antal tekniska lösningar som skulle ligga till grund för det nya flyget och företag och entreprenörer uppmuntrades till att börja utveckla farkoster som Uber skulle marknadsföra på sin plattform. Det nya flyget skulle avsevärt förkorta restiderna mellan regionala mål och Uber visade hur restiderna i flera tättrafikerade storstadsregioner runt om i världen skulle kunna kortas ner från timmar till minuter. eVTOL skulle starta och landa på så kallade vertiports. Vertiportsen skulle kunna placeras på hustak, ute på prämar, på taket till parkeringshus och andra platser för enkel tillgänglighet. För att den nya trafiken skulle vara möjlig så presenterades ett antal nyckelfaktorer: certifiering, batteriteknik, farkosternas effektivitet och säkerhet, kontroll av luftrummet, ekonomi, utsläpp och buller. Nu har det gått 6 år sedan Uber släppte sin studie och ett antal aktörer har arbetat med dessa fordon för att ta del av den nya trafiken och dess enorma framtida marknad.

1.1 Bakgrund

Swedavia är ett statligt ägt bolag vars uppdrag är att äga, utveckla och driva det nationella basutbudet av flygplatser. Examensarbetet ingår som en del i leverans/delmängd i en förstudie som Swedavia utför med syfte att studera integrering av drönare till större flygplatser, förstudien benämns IDLA- Integration of Drones to Larger Airports.

IDLA skall bland annat analysera integrering av drönare och eVTOL (Electric Vertical Take-off and Landing)-trafik i anslutning till större flygplatser.

1.2 Syfte

Examensarbetets huvudsyfte är att skapa en ökad förståelse för och tydlighet kring de tekniska möjligheterna och förutsättningarna för att integrera det nya flyget i samverkan med nuvarande flygtrafik på större flygplatser. Arbetet ska även titta på den nuvarande marknaden och granska en del av tekniken som används för att utveckla och producera eVTOL.

1.3 Mål

Målet för examensarbetet är att dels undersöka den tekniska rimligheten för den nya flygtrafiken och hur den ska integreras med den nuvarande flygplatsinfrastrukturen. Den nuvarande marknaden kommer att analyseras och koncepten som är under utveckling kommer att granskas. Examensarbetet kommer att försöka besvara ett antal konkreta frågor:

- Hur integrerar man drönar- och eVTOL -trafik i den nuvarande flygplatsinfrastrukturen?
- Vilka tekniker är det som utvecklas just nu?
- Är tekniken mogen och tillräckligt säker för att man ska bruka den inom de närmaste åren?
- Vilka aktörer finns det på marknaden och vilka av dessa aktörer är närmast att börja sälja farkoster som ska bli integrerade i trafiken?
- Hur har andra flygplatsaktörer förberett eller anpassat sig för den nya trafiken?
- Hur kommer den nya trafiken att påverka samhälle och miljö?

1.4 Avgränsningar

Examensarbetet hade initialt ett antal avgränsningar som ställdes av uppdragsbeställaren. Dessa var att arbetet endast skulle omfatta passagerarfarkoster på de tre största flygplatserna Arlanda, Landvetter och Malmö Airport och att arbetet endast skulle omfatta tekniska och operationella aspekter av integreringen och därmed skulle arbetet inte omfatta de ekonomiska och lagliga aspekterna. Arbetet skulle inte heller beakta alla regler och rutiner kring in- och utflygning från flygplatserna.

Under arbetets gång har det gjorts ytterligare fler avgränsningar i samråd med handledaren för att möjliggöra en mer relevant analys som fokuserar på viktiga huvudområden. Efter konsultation med handledare bestämdes att de två kategorier skulle uteslutas ur analysen. Wingless är lösningar med endast rotorblad och dessa har för kort räckvidd och E-helikopters uteslöts på grund av att helikoptrar redan är integrerade i samhället och dess infrastruktur.

För att få listan mer relevant har nyheter från [evtol.com/news](https://www.evtol.com/news) använts där koncept som har nämnts i artiklar där det framgår att företaget har en pågående utveckling med konkreta planer för testning, avtal med köpare och en strategi för att bli certifierade. Detta ger en lista med mer seriösa aktörer som är på marknaden eller börjar att närma sig. Artiklar från 1 mars 2022 och 6 månader tillbaka har granskats och i granskningsarbetet visar det sig tydligt vilka dessa aktörer är.

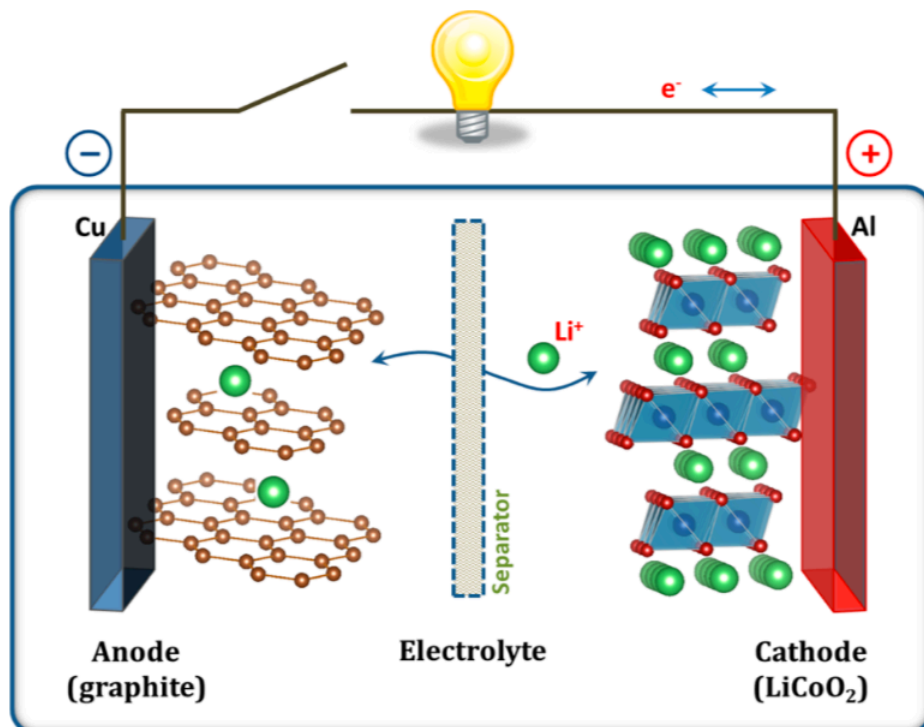
2 Teori

För att analysera leverantörernas angivna kapacitet kommer uträkningar göras baserat på hur mycket kraft det behövs för att genomföra en flygning, dels hur mycket effekt som används momentant alltså direkt och hur mycket energi som går åt över hela flygsträckan från start till landning. Syftet med analysen är att göra en uppskattning som är relevant och därför kommer den teori som används att vara i proportion med frågeställningen och rapportskrivarens förmåga. Det finns djupare analysmöjligheter, men det kräver specialiserade kunskaper om mjukvara som är utanför nivån för examensarbetet.

2.1 Litium-jon-batterier

Ett batteri består av ett antal battericeller tillsammans med förpackning, ledningar och i litium-jon-batteriers (LIB) fall även ett batterihanteringssystem (BMS). Allt det här tillsammans skapar ett batteripack. I större batteripack för till exempel elbilar så finns även ett temperaturregleringssystem som värmer och kyler batteriet för att skydda batteriet från skada och skapa de bästa förutsättningarna för batteriets förmåga att laddas och laddas ur.

En battericell består av två stycken elektroder, anoden och katoden som separeras av elektrolyten. Elektrolyten kan vara flytande eller fast. I en cell med flytande elektrolyt och fasta elektroder separeras elektroderna med en separator som kan genomträngas av elektrolyten. Elektrolyten leder jonerna från den kemiska reaktionen mellan anoden och katoden medan den tvingar elektronerna i reaktionen att färdas genom en extern krets via terminaler där den utför arbete [2].



Figur 1. från den första Li-ion batteriet (LiCoO₂/Li⁺), från [2].

De första gångerna en cell laddas så bildas en Solid Electrolyte Interface(SEI) när anoden kommer i kontakt med elektrolyten. En liten del av elektrolyten bryts ner och bildar en passivt lager som skyddar anoden från att reagera med elektrolyten [3].

Spänningen mellan terminalerna är 3-4 V beroende på laddningstillståndet, SOC (State of charge). Spänning är som högst ca 4,2 V när SOC är 100% och allteftersom batteriet utför arbete så minskar spänningen och SOC. För att öka energin i batteriet igen så laddas det med en yttre energikälla och den kemiska reaktionen sker omvänt och spänningen och SOC ökar. Under laddning och urladdning sker förluster i form av värme på grund av batteriets inre resistans. Förlusterna sker både linjärt men även exponentiellt beroende på mängden ström. Den inre resistansen påverkar dels av temperatur där lägre temperatur ger högre resistans men även SOC, en lägre SOC ger högre resistans.

Cellens laddning och urladdningsförmåga benämns med bokstaven C där 1C innebär att cellen laddas eller laddas ur helt på 1 timme. 2C betyder att det tar halva tiden för SOC att gå till 0%. Högre C värde genererar mer värmeförluster på grund av den ökade strömledningen [4].

Litium-jon-batterier(LIB) är känsliga för den temperatur som de arbetar i. Den optimala temperaturen ligger mellan 15-35 °C men batteriet kan även användas mellan 0-45 °C, men då med minskad kapacitet vid lägre temperaturer (särskilt under 0 °C). Litium-jon-batterier ska inte laddas under 0 grader då det kan uppstå plattering av litium på den negativa elektroden som permanent minskar batteriets kapacitet. Högre laddningshastigheter förvärrar effekten [4].

Vid högre temperaturer påverkas inte cellens kapacitet, men livslängden minskar redan vid en temperatur på 30 °C och vid laddning och urladdning minskar livslängden med 20%. Högre temperaturer vid lagring av cellerna påverkar däremot kapaciteten, vilket gör att ett batteri lagrat vid 40 °C tappas 25% av sin kapacitet [4].

De allvarliga riskerna med hög temperatur uppstår redan vid 60 °C och når en kritisk punkt vid 100 °C. Då uppstår en trestegs kedjereaktion som kallas "thermal runaway". Det börjar med att den interna temperaturen stiger, värme ackumuleras, gaser uppstår i cellen som leder till en exotermisk reaktion som i sin tur förbränner den brännbara elektrolyten och en explosion uppstår [4].

De relevanta egenskaperna hos en battericell är cellspänning, gravimetrisk energidensitet Wh/kg , volymetrisk densitet Wh/m^3 , maximal laddning och urladdningskapacitet(C värde). Batteriets livslängd bestäms till den tid eller antal cykler som batteriet kan laddas och laddas ur innan kapaciteten har minskat till 80% av sin ursprungliga kapacitet [5]. Vidare i praktiska sammanhang så pratar man om packspecifik energidensitet Wh/kg och packspecifik effekt W/kg när man beaktar alla andra delar som behövs för ett komplett batteri.

Dessa egenskaper bestäms av vilka elektrodmaterial som används i cellen. Följande är en översikt över vilka kompositioner som finns tillgängliga på marknaden idag och dess egenskaper.

Litium koboltoxid (LiCoO_2) – LCO

LCO-batteriet har en hög specifik energi 150-200 Wh/kg och används vanligtvis i telefoner, datorer och kameror. Batteriet består av en koboltoxidkatod och en grafitanod. Nackdelarna med LCO-batterier är relativt kort livslängd (500-1000 cykler), låg temperaturstabilitet (thermal runaway vid 150 grader) och begränsad laddning och urladdningskapacitet. LCO ska inte laddas snabbare än 1 C men tillverkare rekommenderar 0,8 C för att inte minska batteriet livslängd. Maximal urladdning får inte heller överstiga 1C [6]. Kobolt är också ett dyrt grundämne på grund av begränsat utbud [7].

Litium manganoxid (LiMn_2O_4) – LMO

LMO har en låg inre resistans jämfört med LCO och det medger snabbbladdning och förmåga till hög urladdning, 20-30A, med korta pulser på 50A i en sekund utan att bli alltför varm. Kapaciteten är däremot bara en tredjedel av LCO, men genom att kombinera LMO med nickel, mangan och kobolt(NMC) framställs en cell med ökad specifik energi och längre livslängd. LMO (NMC) ger det bästa av båda världar. LMO-delen av batteriet (30%) ger ett högt effektuttag och NMC-delen ger lång räckvidd och livslängd [6].

Litium nickel mangan koboltoxid (LiNiMnCoO_2) — NMC

En av dom mest framgångsrika LIB-systemen är NMC där katoden består av nickel-mangan-kobolt (NMC). Dessa celler kan optimeras för att ge hög specifik energi eller hög specifik effekt. Kombinationen av mängden NMC ger olika egenskaper. Det vanliga är 1-1-1, alltså en tredjedel nickel, en tredjedel mangan och en tredjedel kobolt. I och med svårigheterna att framställa kobolt så har andra kombinationer testats med mindre del kobolt, till exempel 5-3-2 [6].

Litium järnfosfat(LiFePO_4) — LFP

Litium Järn Fosfat-celler har goda elektrokemiska egenskaper med låg inre resistans. Det ger cellen en hög effektförmåga, lång livslängd och god termisk stabilitet. Den klarar även av full laddning bättre, även när den lagras en längre tid. Nackdelen med LFP-celler är lägre cellspänning och lägre specifik energi. LFP anses vara en bra lösning för stationär lagring av elektricitet i elnätet eller som husbatteri då den har hög termisk stabilitet och en lång livslängd [6].

Litium nickel kobolt aluminiumoxid (LiNiCoAlO_2) — NCA

NCA har liknande egenskaper som NMC med god specifik kapacitet och livslängd, men med sämre säkerhet och högt pris. Används av främst av Panasonic och Tesla [6].

Litium Titanoxid (Li_2TiO_3) — LTO

En cell med litiumtitan som anodmaterial som ersätter grafiten, katoden kan vara LMO eller NMC. LTO har en låg cellspänning, kan snabbbladdas och leverera en stor effekt med väldigt bra termisk stabilitet. Till skillnad från alla andra system har den en hög kapacitet vid extremt låga temperaturer och kan användas ända ner till -30 °C. Nackdelen med LTO är låg specifik energi och hög kostnad [6].

2.2 Flygteknik

I analysen för en flygning med drönare och eVTOL finns flera stadier som följer varandra. Dessa är:

1. Vertikal start där farkosten startar likt en helikopter och når en höjd på över 100 meter.
2. Övergång till lyftflyg där farkosten börjar röra sig horisontellt och ökar hastigheten till dess att farkosten kan flyga med hjälp av lyftkraften från vingarna.
3. Ökad hastighet och ökad flyghöjd. I detta stadie fortsätter farkosten att klättra och öka hastigheten till dess att marschhöjd och hastighet har uppnåtts.
4. Det längsta stadiet är marschflyg där farkosten flyger fram till destination.
5. Nedstigning till övergångshöjd och hastighet. Farkosten sänker hastigheten och höjden för att påbörja övergången till vertikalt flyg.
6. Övergång till vertikalt flyg. Farkosten går över till vertikal lyft kraft och minskar höjd och sänker den horisontella hastigheten till 0 och går därmed över till att sväva igen över marken och därefter landar vertikalt [8].

Flygkraften för propellrar för vertikalt flyg räknas ut med *Disk actuator theory* som beskriver effekten som krävs för att hålla farkosten svävande [9].

$$P = \sqrt{\frac{T^3}{2\rho A}} \quad (1)$$

T är drivkraften och är lika med farkostens massa multiplicerat med gravitationskonstanten alltså farkostens vikt. ρ är luftens densitet och A är propellerns verksamma area. För att beräkna hur mycket kraft det går åt för att lyfta vertikalt och manövrera med vertikala propellrar så multipliceras T med 1.3 och därmed får man en så kallad Thrust to Weight ratio T/W på 1.3 [9].

Inom konventionellt flyg med farkoster med vingar finns det två stycken värden som används för att bestämma farkostens flygförmåga. Farkostens lyftförmåga (Lift) och farkostens luftmotstånd (Drag). Lift beror på luftens densitet, flyghastigheten och farkostens referensarea men den viktigaste faktorn är C_L som är farkostens lyftkoefficient. Lyftkoefficienten kan beräknas matematiskt om det gäller enkla former men detta görs oftast med hjälp av vindtunnlar där man kan bestämma de övriga faktorerna och därmed få fram lyftförmåga och lyftkoefficienten. På samma sätt bestäms luftmotståndet och C_d luftmotståndskoefficienten för farkosten. För detta arbete så kommer Lift(L) och Drag(D) att hämtas från källor då det inte är möjligt att experimentellt ta fram dessa för farkosterna som kommer att analyseras [10]. För flygfarkoster som får lyftkraft med hjälp av vingar beräknas kraften som erfordras för marschflyg vid en viss hastighet med följande ekvation:

$$P_{marsch} = D * v \quad (2)$$

Där värdet D är hur mycket det totala luftmotståndet som skapas av flygplanet är och v är hastigheten.

Lyftförmågan L motsvarar planets vikt $MOTM * g$ och om L/D är givet så kan D beräknas med [8]:

$$L/D = \frac{MOTM * g}{D} \quad (3)$$

Ekvation 3 skrivs om

$$D = \frac{MOTM * g}{L/D} \quad (4)$$

Kraften vid klättring är samma som vid marschflyg men med en adderad komponent för den kraften som krävs relativt stigningsvinkeln Φ .

$$P_{klättring} = (D + MOTM * g * \sin\Phi) * v \quad (5)$$

Vid nedstigning kan kraften teoretiskt stängas av, farkostens vikt och luftmotstånd agerar för att minska höjd och hastighet, men för att garantera en kontrollerad nedgång anges kraften för nedstigning till 20% av kraften vid marschflyg [8].

Vid övergångsflyg till högre och lägre flyghöjd används både vertikal kraft och horisontell kraft. Den vertikala kraften börjar vid 100% och avtar allteftersom den horisontella hastigheten ökar tills dess att hastigheten är hög nog för att farkosten ska använda sina vingars flygförmåga för att hålla sig kvar i luften. Enligt [11] är den här hastigheten till 55 m/s. Den vertikala kraften avtar linjärt och beräknas som hälften av kraften som krävs vid vertikal start [8].

Den kraft som krävs för att öka höjden antas komma från det horisontella systemet som är mer energieffektivt. Det finns kraft tillgängligt hos det vertikala systemet men tas inte med i beräkningen, ett värde på T/W på 1 kan användas men det finns en osäkerhet kring hur det vertikala systemet påverkas av övergången till marschflyg så T/W på 1,3 behålls. För ökad hastighet vid marschflyg så sätts den slutliga effekten motsvarande den hastighet som vill uppnås direkt vid början av hastighetsökningen och därmed är effektuttaget konstant.

$$P_{övergång} = \frac{P_{vertikal}}{2} + P_{klättring} \quad (6)$$

2.3 Certifiering och säkerhet

Ett av hindren för kommersiellt flyg i tätbebyggda områden är säkerhetskrav och kriterierna för certifiering.

Examensarbetet kommer inte att fördjupa sig i lagar och regelverk för farkosterna förutom i det avseende där en bedömning görs om det är rimligt att uppfylla kraven relativt den teknik som analyseras i teknikdelen. Därför beskrivs bara här kort om två certifieringsorgan i Europa och USA som påverkar utvecklingen och deras krav på teknik.

EASA SC-VTOL

I Europa har man skapat en så kallad Special Condition SC-VTOL-01 regelverk istället för en vanlig CS Certification Specification. Detta dels för att man ska kunna arbeta snabbare då en CS tar flera år att ta fram, men även för att marknaden och tekniken utvecklas hela tiden. SC-VTOL-01 innehåller två kategorier; Basic och Enhanced. Basic gäller för icke kommersiellt flyg i lågriskområden alltså i glesbygd medan Enhanced gäller för kommersiellt flyg över tätbebyggda områden och städer. Kraven för Enhanced är samma som för konventionellt kommersiellt flyg med en DAL (Design Assurance Level) på 1 till en miljard. Det innebär att chansen för en katastrofal olycka när man utvärderar design och utvecklingsarbetet ska vara en olycka på 1 miljard flygtimmar. Enhanced kategorin kräver dessutom att man ska kunna landa på ett säkert sätt oavsett om man får problem med flera system samtidigt. En krasch är inte acceptabelt som utgång för ett nödläge. Enhanced kategorin specificerar maximalt antal passagerare till 9 inklusive pilot och en maximal vikt på 3175 kg. Minsta möjliga energireserv är 15 min flygtid [12].

FAA

I USA har man valt en annan väg där man istället har anpassat tidigare regelverk för elektrisk flyg PART 23/CS-23 och elektriska propellerfarkoster Part 27/CS-27 där den huvudsakliga flygförmågan kommer från lyftkraften skapad av propellarna. Fördelen med det här upplägget är att till skillnad från EASAs regelverk så finns det redan operativa regler, alltså inte bara regler för hur farkosten ska vara beskaffad men även hur man går tillväga när man ska utbilda flygpersonal, hur start och landning ska ske, hur ska löpande underhåll av farkosterna utföras etc.

Under FAA regelverk 135.209 VFR måste flygfarkosten ha minst 30 minuter flygtid som reserv utöver den ordinarie flygtiden [13].

2.4 Markinfrastruktur

Farkoster som landar och startar vertikalt kräver en egen infrastruktur. Så kallade vertiports eller vertistops liknande helikopterplattformar. Vertiportsen måste innehålla start- och landningsplattformar, laddningsstationer och passagerarinfrastruktur. Man kan tänkas ha dessa på byggnadstak, som fristående byggnader, flytande på pråmar eller integrerade med existerande trafikinfrastruktur. Vid större knutpunkter som flygplatser bör det finnas flera start- och landningsplattor för att uppnå tillräckligt hög kapacitet.

I dagsläget finns få färdiga koncept, men flera aktörer arbetar med att ta fram den här kritiska delen till det nya flyget.

2.5 Säkerhet och allmän acceptans

För att den nya trafiken ska vara framgångsrik och värd att implementera i alla led behövs allmänhetens stöd. I en undersökning gjord av Yedavalli, Mooberry på uppdrag av Airbus så framgår det att de fem största faktorerna för allmänheten är: säkerhet, buller, jämlikhet, visuell störning och personlig integritet. När det gäller buller så handlar det både om vad det är för typ av buller och ljudnivå. Kravet på låg bullernivå och ljudtyp togs upp i den ursprungliga studien från Uber där man anser att ljudtypen ska smälta in i den förväntade ljudmiljön och bullernivån ska ligga på -15dB jämfört med ljudet från helikoptrar. Som referens är tal i normalton 60dB [1].

3 Metod

Examensarbetet är i huvudsak ett teoretiskt analysarbete och kommer därför att använda sig mest av informationsinsamling, analys och skapande av förslag till möjliga lösningar.

Data kommer att samlas in från källor på internet, kurslitteratur och intervjuer med experter inom flyg. Informationshämtningen kommer att utföras som en process där en frågeställning formuleras. Ämnesområde och perspektiv bestäms baserat på frågeställningen och därefter bestäms vilka källor som skall användas. Information samlas sedan in för att utvärderas. Om informationen svarar på den ursprungliga frågeställningen kommer källorna som används utvärderas för att bestämma tillförlitlighet. Om informationen inte räcker till eller att källorna inte anses pålitliga så upprepas processen. Ett antal kriterier kommer att ställas upp för att kunna kategorisera informationen som samlas in. Intervjuer kommer att ske med experter i realtid via telekonferens på ett strukturerat sätt med i förväg förberedda frågor. Experterna som ska intervjuas förmedlas av uppdragsgivaren. Ett ramverk för att testa olika lösningar ska upprättas i samråd med uppdragsgivaren.

4 Genomförande

Arbetet har genomförts i flera olika steg med relevanta metoder. I första skedet har en bred informationsinsamling gjorts för att skapa en bild av hur marknaden ser ut och vilka aktörer som arbetar med nya flygkoncept. Detta har skett genom informationssökning hos leverantörer på deras hemsidor, nyhetshemsidor som följer branschen och rapporter skrivna av informationskonsultbyråer. Efter genomförd sökning har fler avgränsningar gjorts för att ge en mer relevant analys längre fram.

Därefter har teori samlats in från akademiska källor för att ligga som grund för den tekniska analysen som genomförts. Efter genomförd analys så har intervjuer hållits för att besvara på frågor kring flygplatsinfrastruktur då den här typen av data inte finns tillgänglig för allmänheten.

4.1 Marknaden

Den första frågan som ställs är: vilka aktörer finns det på marknaden?

En sökning på en internetsökmotor med sökfrasen "eVTOL" ger flera förslag på hemsidor som har innehåll som relaterar till sökningen. Ett av förslagen är sidan evtol.news som visar sig ha ett register på över 600 olika koncept. Dessa är allt ifrån ritningar gjorda av designbyråer till färdiga produkter som är under pågående certifiering. För att gallra bland alla farkoster ställs ett antal krav för vilka farkoster som är relevanta för arbetet och kräver vidare granskning. De koncept som är relevanta ska utvecklas av företag som har en flygande fullskalig prototyp som man utvecklar aktivt. Farkosten ska när den är färdig framföras av en pilot och ha kapacitet för passagerare.

Fordonen är indelade i fyra kategorier; Vectored thrust, Lift + cruise, Wingless och E-helicopters. Listorna i tabell 1 och 2 visar de företag och koncept som analysen identifierat som mest relevanta inom de två kategorier som är kvar efter avgränsningarna som är gjorda.

Företag	Koncept
ASX Mobi-one	Sigma
Archer	Maker
Autonomous Flight	Y6S Plus
Bell Nexus	6HX
Dufour Aerospace	Aero 3
Joby	S4
Vertical Aerospace	VX4
Overair	Butterfly
Kitty Hawk	H2
Lilium	Jet
Katla Aero	Katla 700

Tabell 1 Företag och koncept med Vectored thrust

Företag	Koncept
Volocopter	Connect
Wisk	Cora
Beta	Alia-250
Supernal(Hyundai)	A1
Autoflight	Prosperity
Airbus	Cityairbus nextgen
Jaunt	Journey

Tabell 2 Företag och koncept med Lift + cruise

Inom kategorin Wingless har Ehang E216 och Volocopter Velocity identifierats som viktiga aktörer och koncept och även om dessa är exkluderade från analysen då de har kort räckvidd så har företagen bakom farkosterna kommit långt i wingless-kategorin och har dessutom eVTOL-prototyper som man utvecklar och därför blir även de presenterade.

Konsultbyrån SMG consulting har skapat ett index AAM Reality Index (ARI) för att bedöma UAM marknaden och dess aktörer [14]. Från början fanns det 16 aktörer med på indexet men nu är man uppe i över 600 stycken. Man tittar på fem aspekter när man bedömer aktörerna. Dessa är: finansiering, ledarskap, teknisk mognad, vart man är i certifieringsprocessen och företagets förmåga att nå fullskalig produktion. Deltagarna i indexet rankas från 0-10 där 0 är ett projekt på papper med ingen eller liten finansiering och 10 är ett företag med storskalig produktion. I dagsläget finns det inget företag som är rankat 10.

Tittar man på de tio högst rankade aktörerna och exkluderar farkoster baserat på avgränsningarna så blir det tydligt att den genomgång som har gjorts stämmer bra överens med ARI.

OEM (stock ticker)	Kolumn1	ARI	Vehicle Type	Vehicle	EIS	Country
Joby Aviation (NYSE: JOBY)	↔	8.4	Vectored Thrust	S4		2024 USA
Beta Technologies	↔	7.8	Lift + Cruise	Alia S250c / S250		2024 USA
Lilium (NASDAQ: LILM)	↓	7.7	Vectored Thrust	Jet		2024 Germany
Volocopter	↑	7.7	Multicopter / Lift + Cruise	VoloCity / VoloConnect	2024 / 2026	Germany
Wisk	↔	7.5	Lift + Cruise	Cora	-	USA
Archer (NYSE: ACHR)	↑	7.4	Vectored Thrust	Maker		2024 USA
Ehang (NASDAQ: EH)	↑	7.4	Multicopter / Lift + Cruise	EH-216 / VT-30	2022 / -	China
Kitty Hawk	↔	7.3	Vectored Thrust	Heaviside	-	USA
Vertical Aerospace (NYSE: EVTL)	↔	7.2	Vectored Thrust	VX4		2024 UK
Airbus	↔	7.0	Multicopter	CityAirbus NextGen		2025 France
Supernal	↔	6.7	Vectored Thrust	S-A1		2028 South Korea

Tabell 3 de högst rankande på ARI, källa: SMG consulting

4.1.1 Företagspresentationer

Vilka är då de största aktörerna på marknaden idag?

Följande är en kort presentation av de största aktörerna på marknaden och deras produkt.

Joby Aviation (NYSE: JOBY)

Grundat 2009 av JoeBen Bevirt. Joby börsnoterades på NYSE i augusti 2021 och är den största aktören på marknaden just nu.

Deras S4 air taxi är en 5 sits EVTOL (1pilot + 4 passagerare) fixed wing, vectored thrust med propellrar som ändrar vinkel från vertikal till horisontell. 4 stycken propellrar vinklar om sig inklusive hela gondolen medans 2 av dom främre propellrarna vinklar upp sig med hjälp av mekanisk sammankoppling. Dess angivna räckvidd är 240 km med en toppfart på 322km/h. Den använder en s.k. "unified flight control system" för att underlätta för piloten när den övergår från vertikal till horisontell flygning.

S4:an använder sig även av DEP (distributed electrical propulsion) för att optimera de olika delarna av flygningen. DEP ökar stabiliteten hos farkosten och är ett redundant system som ökar säkerheten för passagerarna och ifall någon av motorerna slutar att fungera så kan den ändå landa säkert.

Företaget arbetar nu för certifiering runt om i världen och förväntar sig att kunna börja erbjuda transporter till allmänheten år 2024. Det som kan hindra deras certifieringsprocess är en olycka den 16 feb 2022 som nu kommer att utredas. Utredningen väntas ta 12–18 månader[15], [16].



Figur 2 Joby S4, från [15]

Beta Technologies

Grundat 2017 av entreprenören Kyle Clark i Vermont USA. Beta är en av företag som har fått finansiering av Martine Rothblatt's United Therapeutics för att utveckla en eVTOL för organtransporter [17].

Efter att ha visat upp och testat sin prototyp AVA XC i slutet av 2010-talet arbetar Beta nu med produktionsversionen av sin eVTOL med namnet ALIA-250. För att hålla nere komplexiteten har ALIA-250 4 fasta lyftpropellerar och en flygpropeller. Det finns inga uppgifter om hastighet men målräckvidden anges vara 400 km. ALIA testas just nu med pilot. I den första versionen har planet plats för 2 personer och last som skall användas vid organtransporter. En senare version planeras med plats för 5 passagerare och en pilot. Företaget deltar i det amerikanska flygvapnets Force Agility Prime projektet där flygvapnet söker eVTOL- fordon för persontransporter och gods.

Den 7 april 2021 gick fraktföretaget UPS ut med att de har beställt 150 farkoster av BETA för att leverera tidskänsligt gods. Även helikopterbeställningsplattformen Blade har uppgett att man ska köpa 20 stycken ALIA av BETA.

BETA förväntar sig att börja flyga år 2024 [18].



Figur 3 Beta Alia-250 med UPS dekor, från [18]

Lilium GmbH (NASDAQ: LILM)

Lilium är en tysk start-up grundat 2015 av fyra stycken flygingenjörer - Daniel Wiegand, Sebastian Born, Patrick Nathen och Matthias Meiner. Alla från Technical University of Munich. Från början startades projektet med pengar från EU:s Climate-KIC program men i september 2017 fick Lilium mer än 100 miljoner dollar i finansiering från diverse investeringsbolag runtom i världen.

Lilium har gått igenom flera mindre prototyper men år 2019 presenterade de Lilium Jet. Jet är en 5-sitsig eVTOL med 36 stycken elektriska turbiner i kanaler som är integrerade i klaffarna som sitter kopplade till vingarna. Varje klaff har tre motorer och rör sig oberoende av de andra klaffarna. Lilium har i ett hundratal tester visat på imponerande flygegenskaper och testat flera scenarion där individuella motorer slutar att fungera eller klaffar som fastnar.

Med en angiven topphastighet på 300km/h och en räckvidd på upp till 300 km har Lilium Jet en större förmåga än sina konkurrenter.

Lilium ska påbörja produktionen av en 7-sits variant och räknar med att producera 25 stycken under 2023. Produktionsversionen kommer att ha en räckvidd på 250km inklusive reserver och en toppfart på 280km/h. Man räknar med att börja erbjuda tjänsten 2024 via en egen bokningsapp [19].



Figur 4 Lilium Jet, från [19]

Kitty Hawk

Kitty Hawk grundades 2010 med stöd från Google-grundaren Larry Page.

Kitty Hawk samarbetar med Boeing i det gemensamma företaget Wisk med produkten Cora, en självflygande 2-sitsig lift+drag eVTOL. Cora har en räckvidd på 100 km och en marschfart på 180 km/h. Den lyfter och landar med hjälp av 12 propellrar och åker framåt med 1 propeller.

I dagsläget har företaget inte delgett när man förväntas certifiera en produkt och börja sälja transporter.

Parallellt utvecklar Kitty Hawk även Heaviside som är en ensitsig eVTOL. Heaviside har 8 st propellrar som kan rikta sig neråt till skillnad från andra koncept. Man anger räckvidden till 160 km och en marschfart på 350 km/h.

I och med att man utvecklar Heaviside att vara självkörande så har flera organisationer visat intresse av att använda den vid medicinsk evakuering.

Det finns inga uppgifter om när Heaviside kommer vara tillgänglig och vid en testflygning två veckor efter lanseringen kraschade den pga. mjukvaruproblem[20], [21], [22].

Archer (NYSE: ACHR)

Företaget som är baserad i California är grundat av Brett Adcock och Adam Goldstein. I juni 2021 lanserades Maker, deras prototyp och testfordon. Man siktar på att erbjuda en eVTOL som kan flyga upp till 100 km i upp till 240 km/h. Maker har 2 sittplatser, 12 propellrar, sex stycken fasta vertikala och sex som ändrar vinkel mellan lyft och marschflyg. Sex månader efter lanserandet demonstrerade Maker förmågan att sväva.

Archer har fått en hel del investeringar och har börsintroducerats via en s.k. SPAC där man går ihop med ett börsnoterat skalbolag och slipper ha en traditionell börsnotering. Man räknar med att skapa en färdig produkt och erbjuda transporter 2024 [23].

Vertical Aerospace (NYSE: EVTL)

Grundat 2016 i Bristol, England av Stephen Fitzpatrick.

VA har sedan grundandet byggt och flugit flera prototyper och i augusti 2020 presenterades flygfarkosten VX4. VX4 är en 5 sits (1 pilot + 4 passagerare) eVTOL med åtta propellrar på vingarna. De fyra bakre propellrarna är fasta lyft och landningspropellrar och dom fyra främre riktar sig framåt vid marschflyg. Man har börjat producera farkosten och räknar med att börja flyga 2024 [24].

Airbus

Airbus har via sin helikopterdivision skapat en prototyp som heter Cityairbus nextgen. Cityairbus kan ta fyra passagerare och en pilot med en räckvidd på 80 km. Marchfarten uppges vara 120 km/h. Farkosten är lift+drag med fyra stycken fasta propellrar för lyft och två stycken för marsch. Airbus vill hålla nere komplexiteten som uppstår med rörliga propellrar eller flygdelar och räknar med att testflyga en fullskalig prototyp 2023. Certifiering väntas ske 2025 [25].



Figur 5, Från överst t.v. Wisk Cora, Archer Maker, Cityairbus nextgen, Vertical aerospace VX4, från [21], [23], [25], [24]

4.1.2 Markinfrastruktur

Det nya flyget kräver en ny typ av markinfrastruktur. Vertiports är större knutpunkter med plats för flera farkoster och en större mängd trafik medan Vertistops mer liknar hållplatser med kapacitet för endast en farkost, där farkosten ska endast landa för att släppa av och på passagerare och sedan lyfta igen. För att få en tillräckligt stor genomströmning av passagerare vid de ordinarie flygplatserna så behövs större Vertihubs som kan hantera flera farkoster som lyfter och landar, säkerhetskontroller och annan passagerarinfrastruktur samt underhåll och laddningsplatser. Studien som Uber har gjort visar på flera olika koncept av vertiports och vertistops där man anpassar nuvarande markinfrastruktur eller använder sig av platser där billig mark eller vatten finns tillgängligt.

Vad ska man tänka på när man placerar och designar Vertiports?

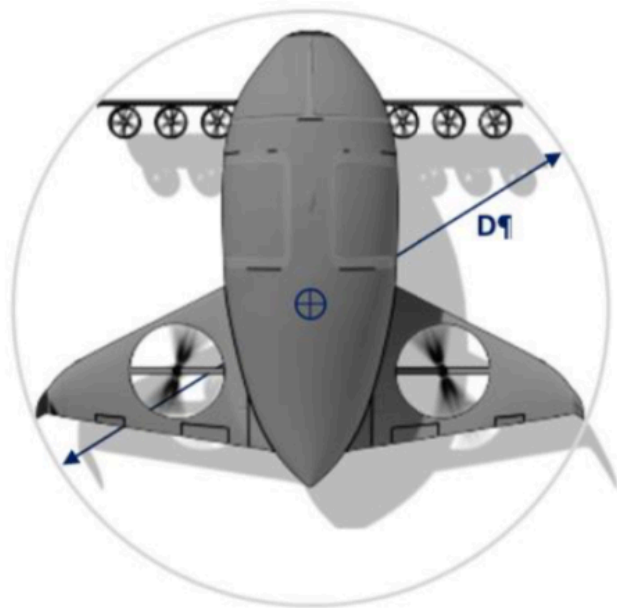
Litteraturen som är skriven om markinfrastruktur är en så länge teoretisk då få Vertiports har byggts och utvärderats.

Ett antal krav har identifierats av Salehi och Wang när man designar Vertiports för större skala [26].

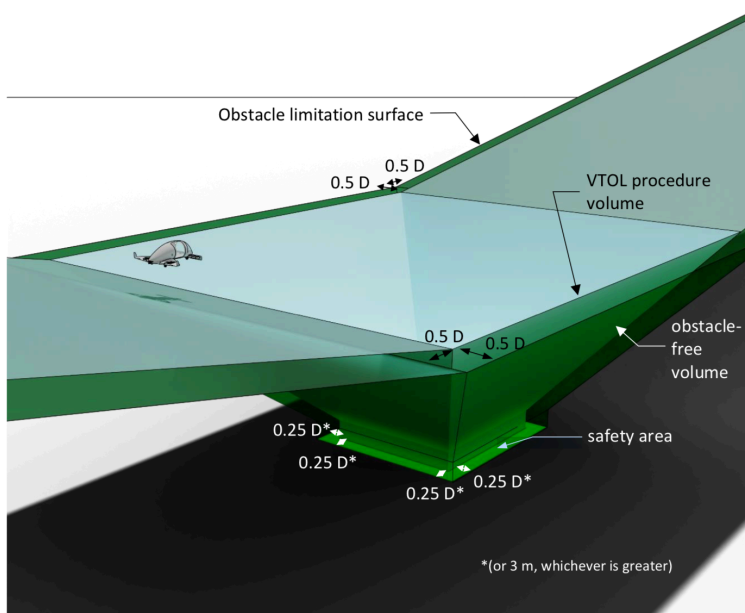
- Infrastruktur: platsen där Vertiports ska placeras ska ingå i befintlig infrastruktur så att den är tillgänglig för passagerare för att uppnå tillräckligt hög genomströmning.
- Kapacitetsoptimering baserad på placering: För att maximera nyttan för samhället ska Vertiports placeras på ställen där den minskar belastningen på trafiken.

- Utrymmet som krävs för start och landning: Utrymmet för att starta och landa, kliva på och av fordonet, ska passa dels fordonet men också uppfylla kraven som ställs av regelverken.
- Acceptans och säkerhet: Säkerhet är den största faktorn för samhällsmässig acceptans av den nya trafiken och detta gäller särskilt när man bygger Vertiports i tät bebodda områden. Man ska även visa att proceduren att gå ombord och kliva sker på ett säkert sätt och att det finns en stor tidsbesparing när man använder eVTOL på vertiports.
- Buller: Man måste beakta hur buller uppfattas av allmänheten, särskilt om man bygger större knutpunkter i urbana miljöer.
- Väder: Det är viktigt med realtidsövervakning av väder som kan påverka flyget. Lokal information om vind, synbarhet, nederbörd, blixtnedslag och andra väderfenomen måste finnas tillgänglig i realtid.

I slutet av Mars 2022 släppte EASA Prototype Technical Design Specifications for Vertiports (PTS-VPT-DSN). Dokumentet ska ses som ett utkast men ger vägledning i vad aktörer på marknaden ska beakta när man designar Vertiports. Dokumentet på 186 sidor är baserat på regler kring helikopterstationer och flygplatser. Bland annat specificeras dels hur in- och utflygning ska ske i luftrummet kring Vertiports. En bild visar en tratt som beskriver den hinderfria volymen kring en Vertiport. D-värdet beskriver den minsta diametern till cirkeln som omsluter farkosten i ett horisontellt plan när farkosten är i start eller landningskonfiguration [27].



Figur 6 D-värde, från [27]



Figur 7 Inflygningstratt, från [27]

Enligt EASAs regler för farkosterna så måste farkosterna klara kraven för "continued safe flight and landing"(CSFL) vilket innebär att flygningen måste kunna fortsätta att flyga till sin destination eller en alternativ nöd-vertiport som ligger på vägen och kan användas som landningsplats ifall att det uppstår ett kritiskt fel under flygningen. I dokumentet beskrivs hur dessa alternativa nöd-vertiports ska vara designade. Kravet på CSFL är ett stort hinder som behöver överkommas av marknadsaktörerna [27].

4.1.3 Vertiports marknad och koncept

Vilka är de stora aktörerna som arbetar med utveckling av Vertiports?

Voloport

Tillverkaren Volocopter har förutom att utveckla en drönare för persontransporter även utvecklat ett Vertiport koncept som benämns VoloPort. Konceptet är utvecklat i samarbete med brittiska Skyports. Inför Intelligent Transport Systems (ITS) World Congress 2019 så byggde Volocopter och Skyports en fullskalig prototyp av Voloport i Singapore [28]. Skyports har genomfört flera investeringsomgångar och samlat kapital för att utveckla Vertiports i flera metropoler runt om i världen, bland annat i Los Angeles, Italien, Malaysia och Storbritannien.



Figur 8 Voloport, från [28]

I slutet av 2021 släppte Volocopter en manual som beskriver hur man går tillväga för att bygga markinfrastruktur för deras UAM. Manualen är utvecklad i samarbete med myndigheter, flygoperatörer och industrin och beskriver vilka behov och krav som ställs på farkostdesign, hantering på marken, laddningsstationer, brandsäkerhet och underhåll av farkosterna [29].

Ehang

Även kinesiska Ehang som har en långtgående produkt inom UAM har i samarbete med den italienska designföretaget Ginacarlo Zema Design Group tagit fram ett Vertiport-koncept med hållbarhet som fokus. Vertiporten ska byggas med grön teknik och med hållbara material. Designen som är inspirerad av det afrikanska Baobab-trädet liknar ett träd där Vertiporten är placerad 30 meter upp på trädets krona. Vertiporten ska ha integrerade solpaneler och laddinfrastruktur för Ehangs farkoster [30].



Figur 9 Ehangs vertiportkoncept, från [30]

Ferrovial Vertiports

Det spanska flyginfrastrukturföretaget Ferrovial utvecklar Vertiports i samarbete med Lilium och Vertical Aerospace. Företaget har angett att man ska utveckla 25 stycken Vertiports i Storbritannien för att förse Vertical Aerospace med markinfrastruktur. Man bedriver även utvecklingsprojekt för att bygga ett nätverk av Vertiports i Florida, USA. Tillsammans med Lilium har de fått tillstånd att bygga en Vertiport vid Palm Beach International Airport som väntas vara klart 2024 [31].



Figur 10 Ferrovial vertiport concept, från [31]

Urban-Air Port

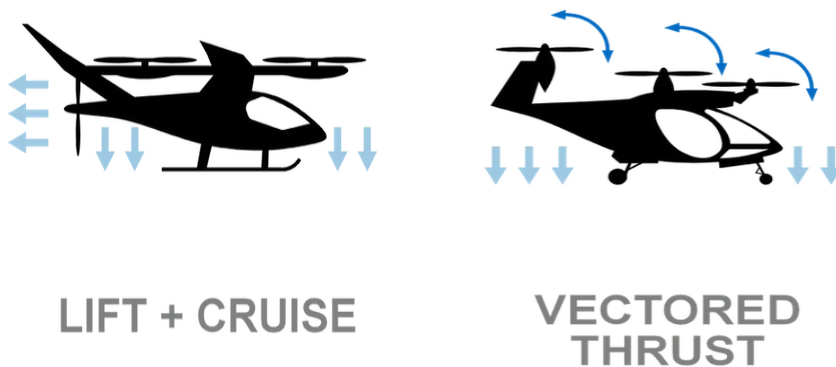
Det brittiska start-up företaget Urban-Air Port gick ut i början av 2022 med att de har säkrat en investering från Supernal, Hyundais AAM underbolag. Investeringen ska användas för att påbörja utvecklingen av 200 stycken Vertiports runt om i världen [32].



Figur 11 Urban Air-Ports pop-up vertiport. Från [33]

4.2 Teknik

Marknadsanalysen visar att det finns två tekniker som tillämpas för att uppnå passagerarflyg med tillräckligt lång räckvidd och hastighet. Vectored thrust och Lift+cruise. Båda har sina fördelar och nackdelar. I Vectored thrust så används samma motorer och propellrar eller turbiner för att åstadkomma flygning och vertikal kraft för start och landning. Fördelen med den här lösningen är att man har mer tillgänglig kraft för marschflyg och därmed får en längre räckvidd och hastighet. Nackdelen med vectored thrust är den ökade komplexiteten som uppstår när propellrar eller hela motorgondoler ska vinklas om mellan svävning och horisontellt flyg. Om det uppstår fel i mjukvaran, elektriska problem, mekaniska fel eller om något kärvar så kan det ha katastrofala följder. Den andra lösningen är Lift+cruise där farkosten har fasta propellrar för start och landning riktade rakt upp, och andra propellrar för marschflyg framåt. Fördelen med det här systemet är att man får mindre komplexitet med färre bristpunkter, men det kommer till priset av minskad räckvidd dels på grund av det ökade luftmotståndet från alla propellrar och motorgondoler som inte används vid marschflyg, men även sämre räckvidd och hastighet då propellrarna för marschflyg är få och mindre [8].



Figur 12 Lyfttekniker

För den djupare tekniska analysen har tre olika farkoster valts. Dessa är valda utifrån att de representerar olika tillämpningar och företagen bakom dessa är de tre största aktörerna enligt ARI.

De tre farkosterna som ska analyseras är: Joby S4, vectored thrust med propellrar, Lilium Jet, vectored thrust med turbiner i kanaler och Beta Alia-250 Lift+cruise.

Liliums ingenjörer har producerat en teknisk rapport där man beskriver tekniken som används för att uppnå de egenskaper man angett att farkosten ska ha. Liliums farkost kommer att granskas ur ett batteriperspektiv.

Beta Alia -250 har angett en väldigt lång räckvidd och kommer granskas ur ett batteriperspektiv där energikapacitet kommer ligga i fokus.

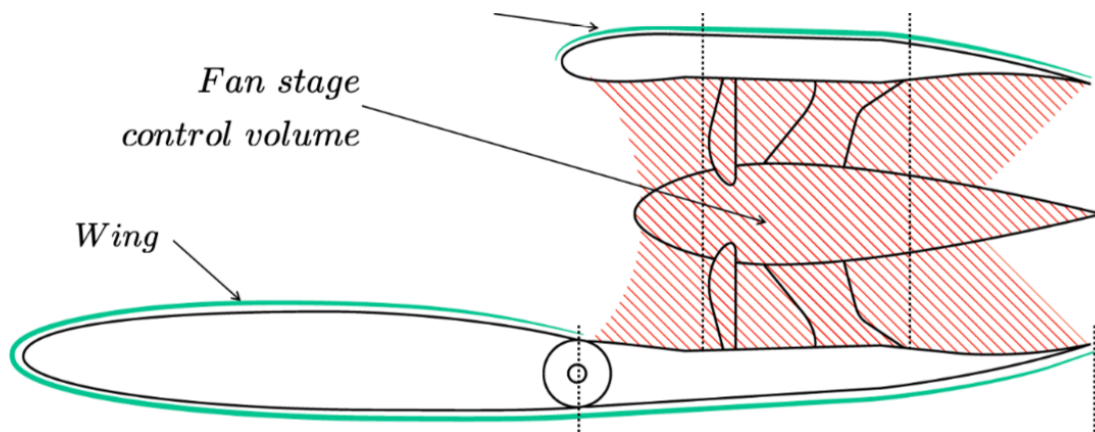
Joby har producerat ett finansiellt underlag där man specificerar hur verksamheten kommer att bli lönsam och kommer att granska ur ett livslängdsperspektiv.

4.3 Teorianalys

4.3.1 Lilium Jet

Lilium Jet är en 5 sätes eVTOL med 36 stycken vectored thrust motorer. Motorerna driver turbiner som sitter i kanaler likt en konventionell turbinjet flyg. Kanalerna är fördelade över vingarna och små mindre nosvingar "canards". Fördelningskvoten är 2 till 1, med dubbelt så många motorer på vingarna som på nosvingarna.

Lilium jet uppnår riktad kraft genom att ha turbinerna som en del av en klaff som vrider sig kring en led kopplad till vingen.



Figur 13 Lilium ving och turbin design, från [8]

För att designa en turbofläkt som fungerar både vid svävning och marschflyg så har man utvecklat Variable Area Nozzle(VAN) där man kan reglera arean på utblåset från turbinen. En stor area är mer effektiv vid start, landning och svävning medans en mindre area ger bättre effektivitet vid marschflyg.

Turbinerna är grupperade tre och tre och grupperna kan kontrolleras oberoende av varandra för att utföra flygmanövrar. Genom att kontrollera varvtal och vinkel på turbinerna så kan farkosten gira, rolla och öka och minska flyghöjd. Den här lösningen innebär att Lilium Jet inte kräver några andra kontrolllytor för att flyga som skevroder, höjdroder och sidoroder. Farkosten använder sig av datorer för att kontrollera och utföra kommandon som ges av piloten via s.k. fly-by-wire system där all input från styrreglage endast är kopplade digitalt till datorer som översätter inputen till digitala signaler som kontrollerar motorerna och klaffarna. Detta system är samma som används i avancerade militära flygfarkoster där planet är omöjligt att flyga ifall systemet slås ur funktion och den risken är den samma med Lilium Jet.

Liliums lösning med att använda många små motorer för att flyga har flera fördelar; mindre turbiner och propellrar i kanaler ger en lägre bullernivå och en typ av buller med högre frekvens som färdas en kortare sträcka jämfört med lågfrekvent buller från till exempel helikoptrar. De många motorerna ger ett mer robust system som klarar av att fortsätta flyga ifall att en motor och turbin slutar att fungera. Nackdelen med systemet är att turbinerna har en väldigt liten svepyta $0,057m^2$ och det innebär att turbinerna har en hög belastning vid start och landning och kräver väldigt mycket kraft [8].

Lilium Jet			
Marschhastighet	300km/h	MOTM	3175kg
Marschhöjd	3000m	Maxlast	700kg
Räckvidd	261 km	Celldensitet	320Wh/kg
Tid start	15 sek	Total kapacitet	305Kwh
Tid övergång	21,2 sek	Last/MOTM	0,22
Tid klättring	451 sek	Torrsvikt/MOTM	0,48
Tid landning	45 sek	Battericeller/MOTM	0,3
Minimum SOC	10%	Effekt start/landning	2570KW
Buller vid 100m	60dB	Effekt övergång	1421KW
L/D	18,26	Effekt marschflyg	224KW
		Effekt övriga system	8KW

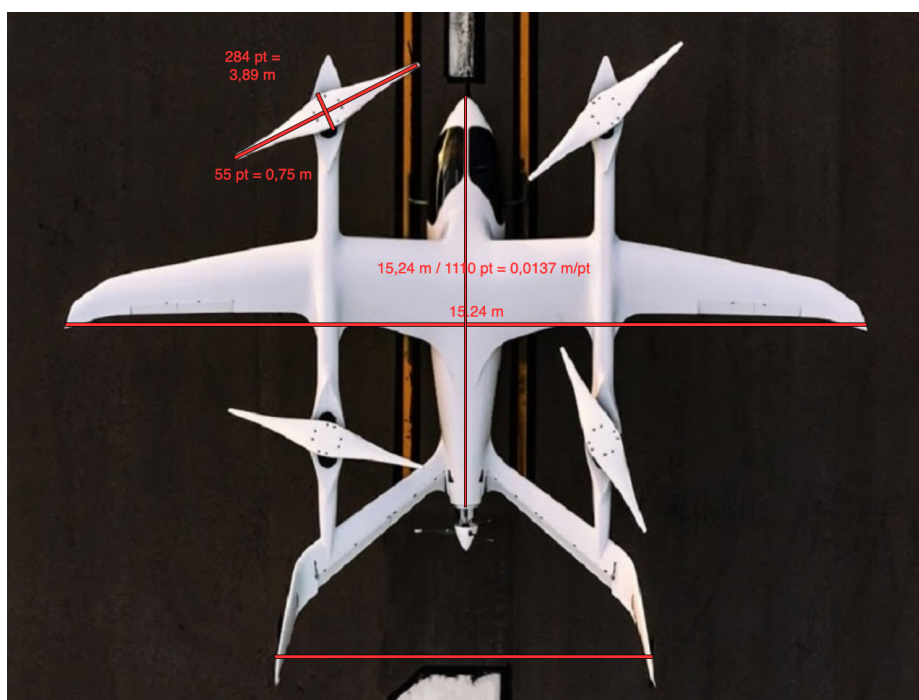
Tabell 3 Av Lilium angivna specifikationer

Siffror i tabell 3 är från Liliums egna rapport över Jets egenskaper och kapacitet visar dels att man för räckvidden räknar med specifik energikapacitet på 320Wh/kg på cellnivå, men man har inte med övriga komponenter som behövs för ett batteripack, dessa räknas i Jets torrsvikt.

4.3.2 Beta Alia 250

Beta Alia 250 är en Lift+cruise eVTOL med 4 propellrar för start och landning och 1 propeller för marschflyg. Den ska flyga fyra passagerare och en pilot och den angivna räckvidden är 400 km. Beta har vid en senare uppdatering uppgett att räckvidden för 4+1 konfigurationen är 150 nautical miles som motsvarar 278 km.

Beta har inte angivit några tekniska specifikationer förutom vingspann så med hjälp av bilder har andra egenskaper uppskattats. Viktigast är propellerdiametern.



Figur 14 Beta Alia med mätvärde, från [18]

Från början angavs att vikten på Alia 250 var 2727 kg (5999lbs) men även Beta har ändrat till maxvikten 3175kg(6999lbs), en begränsning för att passa in i certifieringen för att flyga i Europa[12]. Vidare har kraften som krävs för att lyfta, övergångsflyga, stiga, sjunka, övergå till svävning och landning beräknats för att räkna ut hur mycket energi det finns tillgängligt för marschflyg på marschhöjd. Ett batteripack på 200kwh har använts som grundantagande för att beräkna räckvidd. Värden för L/D och total effektivitet för vertikalt flyg, klättring och marschflyg har hämtats från Sripada och Viswanathana [34].

Sammanställning av framtagna egenskaper hos Beta Alia 250		
MOTM	3175 kg	Angivet av tillverkare
ρ	1.225 kg/m^3	
A_d diskarea	31.2 m^2	beräknad
G	$9,81 \text{ m/s}^2$	
T/W	1.3	antaget
L/D	18	Från källa
D	1730N	Ekvation 3
η vertikal	0.85	Från källa
η klättring	0.85	Från källa
η marsch	0.9	Från källa

Tabell 3 Betas specifikationer

Energi för vertikal start beräknas med ekvation (1)

$$P_{\text{vertikal}} = \sqrt{\frac{(MOTM * g * T/W)^3}{2\rho A}} / \eta_{\text{vertikal}}$$

$$1096 \text{ kW} = \sqrt{\frac{(MOTM * g * T/W)^3}{2\rho A}} / \eta_{\text{vertikal}}$$

Med en acceleration på 0,2 g så uppnår Alia-250 en svävningshöjd på 225 meter efter 15 sekunder. Kraften som förbrukas under den vertikala starten är 1096kW*15s.

I övergångsfasen till horisontellt flyg påbörjas en acceleration till en hastighet på 55m/s med en acceleration som är bekväm för passagerarna på 0,2g. Accelerationen väntas ta ca 20 sekunder och under den tiden har farkosten färdats 550m horisontellt och stigit ca 50 meter med en stigningsvinkel på 5 grader.

Kraftåtgången beräknas med ekvation 5 och 6.

$$P_{\text{klättring}} = ((D + MOTM * g * \sin\Phi) * v) / \eta_{\text{klättring}}$$

$$P_{\text{övergång}} = \frac{P_{\text{vertikal}}}{2} + P_{\text{klättring}}$$

Klättringen sker från ca 300 meters höjd till 2500 meter från 55m/s till 75m/s. Den momentana kraft som behövs för klättring och fartökning beräknas med.

$$P_{\text{klättring}} = ((D + MOTM * g * \sin\Phi) * v) / \eta_{\text{klättring}}$$

Hastighetsförändring sker ganska omgående men klättringen med 5 graders vinkel och 75m/s tar ca 340 sekunder och under den tiden färdas planet ca 25 km.

Kraften vid nedgång beräknas som 20% av kraften vid marschflyg.

$$P_{marsch} = D * v$$
$$P_{nedflyg} = (D * v) * 0,2$$

Kraft och tidsåtgång för övergång till vertikalt flyg och landning antas vara samma som vid start och övergång till horisontellt flyg.

4.3.3 Joby S4

Joby S4 är en vectored thrust eVTOL där riktning av kraften uppnås genom att vrida propellrarna eller hela motorgondolen från vertikalt till horisontellt läge. Joby har angivit snarlika specifikationer på kapacitet och vikt som de andra två tidigare nämnda farkosterna. Joby har kommit längst i finansiering och certifieringsarbetet av dom tre nämnda farkosterna och man har släppt omfattande dokument som förutspår lönsamheten i verksamheten med deras eVTOL. Till skillnad från tidigare nämnda leverantörer, som har en helintegrerad produktion som mål, så ska Joby använda sig av ett omfattande leverantörsnät med redan certifierade flygdelar och man hoppas att detta ska leda till en snabbare certifieringsprocess. Joby är mer konservativa med sina kapacitetsuppskattningar än Lilium och Beta då man räknar med att de flesta resorna ska vara kortare i början av marknadslanseringen. Ett antal antaganden görs kring hur långt och hur ofta man kommer att flyga och arbetet kommer granska om batteritekniken håller för så många laddningscykler som man antar att farkosten kommer att göra för att leverera den ekonomi som förutspåtts.

Enligt Jobys senaste investeringsunderlag har en kalkyl gjorts där deras S4 ska flyga 40 resor på i genomsnitt 10 minuter, 7 timmar om dagen. Varje resa är i genomsnitt 38 km lång med 2,3 passagerare och pilot. Den genomsnittliga tiden för att landa, lasta av, lasta på passagerare och starta antas vara 6 minuter. Om S4:an ska vara i luften 7 timmar om dagen och kräver 6 min på plattan bör resterande tid spenderas för att ladda batterierna och annat underhållsarbete. Med dessa siffror så räknar man med att återbetalningstiden är 1,3 år [35].

4.4 Intervjuer

En viktig del av examensarbetet är att studera integreringen av AAM i den nuvarande flygplatsinfrastrukturen. Då denna kunskap saknas både bland akademien och hos författaren har ett antal intervjuer genomförts tillsammans med handledaren. Handledaren har varit behjälplig med att ge tillgång till sitt omfattande nätverk av aktörer och experter inom flygbranschen, hjälpt till att kontakta intervjuobjekt, bokat intervjuer och även deltagit som stöd under intervjuerna.

För att besvara den ursprungliga frågan så har en lista med frågor tagits fram (bilaga) och för varje intervju har objekten fått svara på ett antal generella frågor som ställs till samtliga deltagare och därefter fått svara på frågor som lämpar sig till deras expertis.

En lista med intervjuobjekt och deras frågor finns som bilaga i appendix.

Intervjuerna har hållits via videokonferens och har efter objektets godkännande spelats in för transkribering.

5 Resultat

Alla tre farkoster från de olika tillverkarna ställer särskilda krav på batteritekniken, Liliium kräver en hög specifik effekt, Beta kräver en hög energidensitet och Joby kräver ett tåligt batteri med lång livslängd. En genomgång av nuvarande batteriteknik har gjorts i kapitel 2 och med dagens teknik finns det inget batteri som uppfyller samtliga krav som ställs. Men hur ser forskningen ut när man tittar på dessa tre aspekter och vad för teknik är nära marknaden avseende dessa batteriegenskaper?

5.1 Liliium Jet och batteriteknik

Om man tittar på fordonsindustrin och tillverkaren Tesla som har kommit längst med sin batteriteknik så har företaget lyckats tillverka ett batteripack med 182Wh/kg. Med ett liknande batteripack så skulle Jets batteripack väga 1638Kg med motsvarande kapacitet. Det kan vara så att alla komponenter som krävs i bilens batteripack inte behövs som kylning eller uppvärmning och kanske är ett lättare batteripack möjligt. Däremot så använder sig Tesla av batteripacket som en bärande del av bilens konstruktion där batteripacket även är golvet till bilen och kopplar samman framdelens chassi med bakkdelen. Om Liliium kan använda sig av batteriet som en del av planets struktur är osäkert. För redundans ska varje motor eller motorgrupp använda sig av 2 oberoende batteripack och för det så krävs dubbla batterikomponenter för varje grupp och det gör i sin tur att varje pack blir tyngre. Med en MOTM på 3175kg innebär det att batteriet står för hälften av planets vikt. Med fyra passagerare och en pilot som beräknas till 500 kg skulle det innebära att det finns mindre än 1000 kg kvar för alla andra komponenter på flygfarkosten.

Kraven på specifik kraft, W/kg är angiven till 2570kW vid start och landning i 15 sekunder. Denna kraft ska vara tillgänglig både vid 100% SOC och 10% SOC. Den specifika kapaciteten på cellnivå är $2570\text{kW}/953\text{kg} = 2,7\text{kW/kg}$

Liliium anger att de ska använda ett batteripack med en cellspecifik energitäthet på 320W/kg och en specifik effekt på 2,7KW/kg. I dagsläget finns det inte ett kommersiellt tillgängligt batteri som uppfyller dessa krav. En granskande analys av nuvarande batteriforskning visar att fokus ligger på att utveckla nya material för anoden och katoden som möjliggör högre kapacitet.

5.1.1 Katodmaterial

Sen introduktionen av Li-jon batterier har det huvudsakliga katodmaterialet från början varit litium i kombination med övergångsmetaller för att uppnå en stabil struktur med hög cellspänning. Från början användes LCO men då kobolt är dyrt och problematiskt använder dagens batterier andra övergångsmetaller som mangan och nickel för att minska mängden kobolt i katodmaterialet. LCO har också en begränsad kapacitet pga. sin kemiska struktur $\sim 140\text{mAh/g}$ medans kombinationen med nickel och mangan också har ökat kapaciteten till $\sim 200\text{mAh/g}$ [36], [37].

De mer avancerade katodmaterial som forskas mest på är litiumrika och nickelrika katodmaterial som kan erbjuda kapacitet på över 250 mAh/g och en högre spänning $>4,6\text{V}$ (Litium rik). Nackdelen är dock att det litiumrika-batteriet lider av kapacitetsförluster på 40-100 mAh/g vid första cykeln och spänningsförluster vid vidare användning på grund av strukturella förändringar av materialet vid användning. En studie av Lee och Ceder visade att

en litiumrik katod kombinerat med mangan, niob och fluor producerade en kapacitet på >300 mAh/g där dessa brister kunde överkommas men mer forskning krävs för att kemin ska kunna användas i batterier [38].

Nickelrika katoder har utforskats betydligt mer i samband med ett ökat intresse från fordonsindustrin där flera kombinationer av NMC katoder med olika fördelning av nickel, mangan och kobolt ger en större energikapacitet 215–220 mAh/g och lägre kostnad än LCO. Dock ser man även där en drastisk minskning av kapaciteten så fort batteriet inte är helt fulladdat. Genomgången av nuvarande forskning visar att på katodsidan kommer det inte ske några drastiska framsteg den närmaste tiden då mer forskning krävs.

5.1.2 Anodmaterial

Dagens LIB använder kol eller rättare sagt grafit som anodmaterial. Grafit har många bra egenskaper; den är billig, har bra elektrokemiska egenskaper och bra säkerhet. Grafit har använts sedan litium-jon batteriets introduktion i början av 1990-talet, men grafit har sina begränsningar. Dess teoretiska kapacitet är ~372 mAh/g och kan inte snabbaddas utan att ta skada [39].

Till skillnad från katodmaterial så sker det omfattande forskning kring anodmaterial då det finns stora kapacitetsvinster att göra ifall tekniken implementeras. De två material som det forskas mest om är kisel och litium. Kisel är det material som är närmast marknaden och det finns redan ett par batterilösningar som har börjat säljas de senaste åren [40]. Kisel som anod har en teoretisk kapacitet på 4200mAh/g, alltså en över 10 gånger mer än grafit och är en av dom mest lovande materialen när det gäller att öka kapaciteten på LIB. Kisel är dessutom det andra vanligaste grundämnet i jordskorpan och är därmed billig att framställa [41]. En orsak till att kiselbaserade batterier inte har kommersialiserats förrän nu är att kisel expanderar med 300% under laddning och urladdning vilket leder till partikelpulverisering, minskad ledningsförmåga, undermålig SEI bildning och detta leder till minskad kapacitet [42]. Forskning och utveckling kring kiselanoden har främst riktats mot att tackla den här expansionen. När det gäller livslängd så är LIB med kiselanod inte ett batteri som än så länge har en lång livslängd. Amprius som är det första företaget att sälja SI-anod batterier uppger en livslängd på 250 cykler och även om man vid oberoende tester har visat att den kan laddas upp till 80% SOC på under 10 minuter så är 250 cykler inte nog för att användas i fordon eller luftfarkoster [43].

Det finns andra ämnen som också har identifierats med bra kapacitet som anodmaterial, men även dessa expanderar vid användning. Dessa är litium, tenn, aluminium och titan.

5.1.3 Specifik kraft

I teorianslysdelen för Lilium Jet konstaterades att Jet kräver en specifik kraft på 2570KW i 15 sekunder. För det teoretiskt föreslagna batteripacket på 305KWh innebär det en urladdning på 8,5 C. Som tidigare nämnt innebär en större urladdningshastighet ökad temperatur och spänningsfall som beror på den inre resistansen i batteriet. Den ökade arbetstemperaturen minskar också batteriet livslängd och ökar den inre resistansen ytterligare [44]. I ett test av en cylindrisk 18650 resulterade en urladdning på 2C i rumstemperatur i en ökning på 23°C. Den största risken vid höga temperaturer är Thermal Runaway där batteriet kan fatta eld med katastrofala följder för flygfarkosten. De mer energitäta cellkemierna NMC, LCO och NCA är alla känsliga för temperatur och ingen av kemierna har förmågan att leverera 8,5C utan omfattande kylning vilket innebär att batteripacket blir tyngre och komplicerat. Andra cellkemier som används för hög effekttillämpningar för till exempel bilar med hög momentan effekt är LFO och LTO. Enligt [6] klarar dessa cellkemier av en hög urladdning >20C men har inte den energitäthet som Lilium kräver.

5.2 Beta Alia 250

Energiåtgång

fas	Tid(s)	Effekt(kW)	Energi(kWh)
Start	15	1104,0	4,6
Övergång	20	948,0	5,3
Klättring	340	400,2	37,8
Nedstigning	340	36,8	3,5
Övergång	20	556,0	3,1
Landning	15	1104,0	4,6
summa	750		58,8
marschflyg	3311	152,2	140,0

Tabell 4 Energiåtgång för Beta Alia

I tabell 4 har energiåtgången beräknats för en flygning med Beta Alia 250 med hjälp av tidigare presenterade formler och antaganden. Tabellen visar att om Alia 250 bestyckas med ett 200KWh batteri så möjliggörs en flygtid på ca 55 minuter. Med en marschhastighet på 270 km/h så skulle det innebära att Alia 250 har en räckvidd på 250 km. Varje ytterligare kWh som kan besparas i övriga flygskeenden ger upphov till ytterligare 23 sekunders flygtid. Den här siffran är ett teoretiskt maximum och tar inte hänsyn till reservkrav, väder och vind som påverkar marschhastigheten.

5.3 Joby S4

I rapporten från Joby senaste "Analyst day" framgår det att S4:an är en lättare farkost än Beta Alia 250. Den har en tom vikt på 1750kg och ett batteripack på 150KWh, den har samma maximala effekt som Beta Alia-250 på 1000kW. I tidigare beräkningar för Alia-250 framgick det att en komplett flygning utan marschflyg förbrukar 58,8 KWh och Joby anger att med 2,3 passagerare och med en flygsträcka på 38km så förbrukar S4 30Kwh per resa. I beräkningen för beta var tiden för samtliga övergångar 12,5 minuter och tas S4 lättare vikt med så kan det antas att den korta flygsträckan motsvarar en flygning utan marschflyg, alltså att hela flygresan består endast av start, övergång, klättring, nedgång och landning. 30kwh är en optimistisk siffra men S4:an kanske är mer effektiv med sin vectored thrust konfiguration och lättare vikt. Med ett batteripack på 150kwh innebär det att S4 behöver laddas var 5:e resa. 40 resor per dygn ger 8 laddningar per dygn och 3000 cykler per år.

Litiumjon-batteriets livslängd är ofta svårt att bestämma. Faktorer som påverkar är hur stor urladdning som batteriet utsätts för, Depth of Discharge (DOD), där en större urladdning ger sämre livslängd. Detta beror på att vid stor urladdning exfolierar grafiten och elektrolyten degraderas. Vid höga SOC och låga temperaturer minskar kapaciteten på grund av förändringar i litiumet i anodmaterialet och laddning/urladdning vid höga temperaturer minskar också batteriets kapacitet. Detta beror på ökad inre resistans då det bildas SEI på anoden. Hög cellspänning och temperatur orsakar också kapacitetsförluster genom oxidering av elektrolytmaterialet. I generella termer så orsakar en SoC på över 80% nedbrytning av katoden medans urladdning under 20% ökar den inre resistansen. För att behålla batteriets kapacitet bör åtgärder vidtas för att behålla batteriet inom det här spannet [45].

Batteriets temperatur bör också regleras för att behålla en lång livslängd. Med dessa åtgärder i åtanke så kan ett NMC batteri ha en livslängd på 1000-2000 cykler, men det räcker inte för att Jobys kalkyl ska vara realistisk. Tittar man på LFP-batteriet har de en livslängd mellan 1500-3000 cykler om åtgärder vidtas, men saknar energitätheten hos NMC batterierna [6].

5.4 Intervjuresultat

Under arbetets gång har åtta intervjuer genomförts med olika aktörer och intressenter inom flygbranschen och det nya flyget. Personerna som har intervjuats är dels individer som jobbar med strategi hos flygplatserna, främst från Swedavia men även operatörer av drönare, tillverkare av eVTOL och projektledare för nya flygplatser och vertiports. Förutom intervjuer har en workshop genomförts internt inom IDLA projektet för att bearbeta de olika scenarion för flygplatsintegrering, workshopen ska följas upp med ett nytt tillfälle där resultaten från arbetet ska utvärderas och integreras i projektet.

I följande avsnitt kommer svaren på frågorna att presenteras i en sammanfattande form och i analysdelen kommer dessa att användas för att besvara på frågorna ställda av arbetet.

5.4.1 Generella frågor

5.4.1.1 *Är tekniken redo för implementering i samhället?*

När frågan ställs till de som är verksamma inom Swedavia är man överens om att det satsas mycket resurser kring tekniken och att det har fått ett stort medialt intresse. För att tekniken ska implementeras så krävs det att man ser över reglerna för det bevakade och obevakade luftrummet. En stor osäkerhet finns kring certifieringen av farkosterna och det är något som talar emot tekniken, man talar även om att krävs stor kompetens och erfarenhet att bedriva kommersiellt flyg. När frågan ställs till operatörer och tillverkare inom branschen så är tekniken redo och används i mindre skala för godstransporter och i blåljusverksamhet. Operatörernas uppfattning är att tekniken är redo när det gäller godstransporter men osäkerheten är stor för passagerare där certifiering uppges som största hindret. Certifiering uppges också som ett stort hinder för vertiports där regelverk fortfarande saknas och väntas vara på plats först 2024, även regelverk för det obemannade luftrummet för drönare väntas inte vara på plats förrän 2023.

Tillverkare av eVTOL för persontransporter anger att tekniken är redo, men att det är ett stort arbete att hitta leverantörer och komponenter som är säkra att användas i flygfarkoster.

5.4.1.2 *Är eVTOL/drönare lämpliga för persontransport?*

Inom Swedavia är uppfattningen att eVTOL och drönare kan vara lämpade för persontransporter förutsatt att man kan få ihop en fungerande affärsmodell. Skillnaden mellan frakt och persontransporter upplevs inte så stor utan att det gäller att hitta marknader för dem båda. På fraktsidan har man sett att det lönar sig med drönartransporter när fraktkostnaden är en insignifikant del av den totala kostnaden. Marknaden begränsas till stor del av räckvidden och kapaciteten i ett tidigt skede. Denna uppfattning delas av operatörerna också. eVTOL tillverkare anser att tekniken är lämplig för persontransporter och att det finns stora tidsvinster att göra med eVTOLs. Många transporter som utförs i dagsläget med dyra helikoptrar kan ersättas med billigare eVTOLs. Transporter kan även erbjudas till platser med dåliga kommunikationer.

5.4.1.3 *Vad kommer eVTOL/drönare att ha för roll de närmaste 5-10 åren?*

Med ökad kapacitet så kommer en större marknad för frakt att bli möjlig. För passagerare ser man flyget som ett sätt att nå fler ställen som saknas väginfrastruktur och en stor påverkan på regionala mål. Tidsplanen som tillverkarna anger upplevs som optimistisk och erfarenhet visar att ändringar i regler för luftrum tar väldigt lång tid med många instanser som måste

rådfrågas. Operatörer anger att eVTOL kommer att vara en lyxtjänst liknande helikoptrar men att blåljusverksamhet kommer också att ha stor nytta av tekniken. Tillverkarna uppger att drönarleveranserna kommer att öka och integreras i fler verksamheter, t.ex. i detaljhandel och restaurangbranschen. Investeringarna kommer att fortsätta öka och utbyggnaden av infrastrukturen kommer att ta fart på lite längre sikt.

5.4.1.4 Vad kommer flygplatsernas roll att vara?

Från Swedavias håll är man generellt överens om att flygplatserna har möjlighet och plats att ta hantera det nya flyget men stor osäkerhet finns kring certifieringsprocessen och hanteringen av det kontrollerade luftrummet kring en flygplats. Uppfattningen är att det nya flyget inte kommer att hanteras på "airside" alltså som en del av det konventionella flyget utan att det kommer att fungera som matartrafik till flygplatsen likt tåg, taxi och buss. Flygplatsens roll som ett nav för kompetens tas upp också som en viktig roll för att det nya flygets operatörer ska ha en framgångsrik integrering.

När frågan ställs till operatörerna inom branschen så är flygplatsernas roll mindre, initialt kommer deras roll att vara större men över tid så kommer man att förlita sig mer på självständiga vertiports både inom och utanför tätbebyggda områden.

5.4.2 Batteriteknik

De intervjuade som jobbar idag med att flyga drönare uppger att batteritekniken begränsar deras räckvidd och kapacitet. Ett annat hinder som uppges är att det är svårt att uppskatta batteriets kapacitet under flygning och därmed måste man vara konservativ när man beräknar räckvidd och kapacitet. Om batteriindikatorn var mer säker så skulle det också leda till ett större utbud. Man anger att man inte ser några större förändringar i tekniken förutom den inkrementella kapacitetsökningen över tid. Man anger att man övervakar bilindustrin för ny batteriteknik. Tillverkarna inom det nya flyget anger att man ser vätgas som en utveckling för att ersätta eller komplettera batterier för att utöka räckvidden och att man har gjort plats för tekniken i sitt designarbete.

5.4.3 Buller/miljö

Dagens operatörer av drönare använder relativt små farkoster som producerar väldigt lite buller, mest buller skapas när man startar och landar medans vid marschflyg är bullret minimalt. Trots det så planerar man flygvägar på ett sätt som undviker befolkade områden och i samråd med myndigheter och andra intressenter som till exempel de som arbetar med renskötsel i Norrland. En strategi för att minska buller är att prova alternativa propellerdesigner och konfigurationer men i dagsläget utför man inga bullermätningar. Utsläppen från elektriska farkoster är ett stort skäl till att man satsar på tekniken men det är inte bara själva farkosterna som har minskat utsläpp jämfört med förbränningsflyg, flygfarkosternas avsaknad av väg eller räls gör att man inte har en miljöskuld när man flyger. Förmågan att nå fler platser utan markinfrastruktur är en stor miljövinna och laddas farkosterna med fossilfri el så är vinsterna ännu större. Tillverkare av eVTOL anger att minskade utsläpp är en viktig del för att få allmänhetens acceptans för tekniken.

5.4.4 Säkerhet

Från Swedavias perspektiv så finns det två aspekter att beakta när det gäller säkerhet. Den största aspekten är självklart flygsäkerheten för själva farkosten, ny teknik granskas noga och skulle få ett stort genomslag i media ifall olyckor sker. Säkerheten i luftrummet är lika viktig särskilt kring flygplatser, det finns separationskriterier som måste uppfyllas för att undvika olyckor med farkoster som kolliderar i luften. Vidare så måste regler och rutiner utvecklas för att hantera batterier och starkström för laddning, kunskap inom elektromagnetiska fält behöver utökas för att förstå hur tekniken påverkar övrigt flyg och utrustning som radar och GPS, detta gäller för all elflyg.

Från operatörernas sida så arbetar man med noggranna säkerhetsanalyser inför varje flygning. Man spärrar av start och landningsplatser och kartlägger färdvägen för att undvika områden där människor finns. Under marschflyg så finns det i förväg utplacerade nödlandningsplatser ifall att drönaren tappar kontakten med trafikledningen och man koordinerar flygningarna med flygtrafikledningen i regionen och därmed säkerställer luftrummet som man nyttjar. En operatör anger även att man har en nödfallskärm som ska garantera att drönaren inte faller okontrollerat ner till marken.

De största riskerna operatörerna anger med sin verksamhet är dels tekniska problem som orsakar haveri men även att regler och aviseringar om flygningar i luftrummet ibland inte kontrolleras av övriga aktörer, särskilt fritidsflygare.

Tillverkare av markinfrastruktur gör ingen större skillnad på säkerhetskraven gällande passagerarna i en eVTOL och annan transport för få passagerare som till exempel bilar. Flygplatserna har höga säkerhetskrav kring passagerare för att det är masstransport med många individer som berörs ifall att det skulle ske en olycka eller illasinnad handling. Det innebär att så länge som eVTOL håller sig på ”*landside*” likt taxi etc. så är säkerheten den samma. Risken för kapning uppges liten då farkosterna även med pilot kommer att vara relativt autonoma.

Tillverkare av eVTOL uppger att man designar farkosten med redundanta system och propellrar konfigurerade på ett sätt som skyddar passagerare från bladen vid ombordstigning. De redundanta systemen möjliggör säker flygning och landning även om en eller flera propellrar slutar att fungera. Man anger att de största riskerna är att ha för komplexa säkerhetssystem som man inte har full kontroll över.

5.4.5 Affärsmöjligheter

eVTOL har en plats i Sverige och på flygplatserna. Tekniken kommer att vara ett komplement till den övriga trafiken och längre fram så kan den komma att ersätta det konventionella regionala flyget. De intervjuade från Swedavia anger att integreringen kommer därför att ske mer på de regionala flygplatserna, men allt det här förutsätter att man utgår från en lönsam affärsmodell.

Operatörerna vill vidareutveckla sin verksamhet till att erbjuda on-demand leveranser av gods i ett större område och utöka samarbetet med räddningstjänst. Tillverkare av markinfrastruktur för flyg ser stora möjligheter för andra operatörer än stora flygbolag att erbjuda flygtransporter och godstransporter kommer att erbjudas i fler branscher. Ett stort hinder man uppger är att det tillsätts för lite resurser hos myndigheter för att granska tillståndsansökningar och att kompetensen hos dessa behöver utökas.

5.4.6 Anpassningar från Swedavia

Det finns gott om plats förutom i nära anknytning till terminalerna, men möjlighet finns att bygga nya terminaler för det nya flyget, alternativt att bygga vertiports på parkeringshustak som är nära de nuvarande terminalerna. Anpassningar i luftrummet kräver mycket mer arbete, dagens flyg startar och landar enligt ett förutbestämt schema och det gör det möjligt att planera luftrummet där efter. eVTOL-trafiken ska vara on-demand och det gör planeringen mycket svårare. Om eVTOL med ett fåtal passagerare ska prioriteras över stora flygplan med flera hundra passagerare kommer det att bli dyrt och deras begränsade kapacitet gör det svårare för dem att vänta på en landningstid.

6 Analys och diskussion

6.1 Teknik

Resultaten från litteraturen visar att det i dagsläget inte finns något batteri som uppfyller den prestanda som uppges från tillverkarna av eVTOL för persontransporter. Liliums batteripack har inte den energidensitet som dom räknar med i sina kalkyler och även med ett avancerat kylningssystem som väger extra i batteripacket så kommer den hastiga urladdningen att slita på batteriet och förminska dess livslängd. Lilium har valt en obeprövad teknik för sin JET och det har riktats mycket kritik mot företaget och dess antaganden kring batteritekniken som man sägs ha tillgång till [46]. Med det sagt så är Liliums lösning spännande och det pågår en omfattande testkampanj under 2022. Trots att batteritekniken inte finns just nu för att leverera den räckvidd som uppges så pågår batteriforskning och utveckling i rasande fart. Amprius har börjat sälja 400Wh/kg med begränsad livslängd och medans examensarbetet pågår har företaget Quantumscape gått ut med att man nu har lyckats ladda sitt batteri med fast elektrolyt över 800 gånger med bibehållen kapacitet [47], [48]. Batteriet kan optimeras för volym eller densitet och man uppger en cellspecifik kapacitet på mellan 380-500Wh/kg vilket skulle öka Lilium och andra elektriska flygfarkosters räckvidd rejält. När det gäller certifiering ser det mer osäkert ut, tidigare uppgav Lilium att man räknar med att få farkosten certifierad 2024, men vid ett senare pressmeddelande har man reviderat datumet till 2025. Det senaste från FAA är att man inte längre tänker certifiera eVTOL som småplan utan att man har nu skapat en ny kategori specifikt för eVTOL. FAA uppger att det här var väntat och att det inte ska påverka certifieringstiden för företag som redan har påbörjat processen under det gamla regelverket, men ovissheten kring processen har ökat.

Betas antagande är mer rimliga och i en senare revidering av deras specifikationer så har man ändrat vikten och den angiva räckvidden till siffror som stämmer bättre överens med dagens batteriteknik. Den flygtid som räknats ut på 55 minuter räcker för att färdas ca 250 km, men tar man med reservkraven från FAA och EASA så minskar den till hälften i FAA fall och till ca 40 minuter om man flyger i Europa. Huruvida räckvidden räcker för att uppnå Betas mål om att flyga till regionala mål inom en 100-300 km radie är osäkert. Det är sällan att flygplan kan flyga raka vägen från punkt A till B utan att färdplanen måste anpassas efter övriga restriktioner, andra flygfarkoster, byggnader och väder. Även Beta kommer att kunna utöka sin räckvidd och täckningsområde med vidareutvecklingen av dagens LIB teknik. Beta anger 2024 som certifieringsmål och påverkas av ändringarna som FAA har infört i klassen.

Joby är mer konservativ i sin räckviddsbedömning och fokuserar initialt på att flyga korta flygningar över stora städer med långsam biltrafik och produkten liknar mer flygtaxi. Man har även satsat på att använda delar från redan etablerade flygleverantörer som ska underlätta certifieringsprocessen. Joby ekonomiska antaganden kräver stora volymer av flygningar per dag och år. Om S4:an ska flyga 40 gånger per dag med en snittförbrukning på 30Kwh per flyg innebär det att batteriet på 150Kwh skulle behöva laddas 8 gånger per dag. Det förutsätter att batteriet går från full kapacitet (0% DOD) till 100 % DOD innan det laddas och litteraturen visar att batterier livslängd påverkas avsevärt av hur mycket de laddas ur vid varje cykel. För att få den optimala livslängden bör batteriet istället laddas varannan eller var tredje flygning och därmed hamna mellan 100% och 40% DOD. Det här är möjligt men det medför att tiden som S4:an spenderar mellan varje flygning ökar. Man kan utforma sin tjänst för att optimera

livslängden med en så kallad hub and spoke trafikmodell där S4:an utgår från ett centralt nav t.ex Los Angeles flygplats där laddinfrastruktur existerar, flyga ut med kund eller hämta en kund på en regional vertiport, lämna/hämta passagerare, flyga tillbaka, lämna eventuella passagerare och ladda om för nästa flygning.

Aktörerna på eVTOL och drönarmarknaden för persontransporter står inför stora utmaningar. Förutom att bygga en helt ny typ av flygfarkost som ska vara säker för passagerare och övrigt flyg måste man även bemöta krav från myndigheter, skapa ekonomisk lönsamhet och söka allmänhetens acceptans.

För att bygga dessa nya farkoster används en hel del ny obeprövad teknik inom flyget och även om flera aktörer har många tusen testtimmar i ryggen så finns det en viss osäkerhet. Även om man använder redundanta system med dubbla batterier och styrsystem för att klara av eventuella avbrott i systemet så finns det många punkter som behöver fungera felfritt för att farkosterna ska hålla sig i luften. Från batteri till styrelektronik, motorer, mekaniska don som vrider på motorerna till pilotens inmatning. Det är värt att nämna att inget civilt VTOL flygplan har i dagsläget blivit certifierat på grund av den ökade komplexiteten med vridbara kraftkällor. Tiltrotor flygplanet Leonardo AW609 har fortfarande inte blivit certifierat 20 år efter att den började utvecklas [49].

Även om certifieringsprocessen för själva farkosterna är igång för flera aktörer så finns det fortfarande en hel del arbete kvar. För att flyga kommersiellt med passagerare så räcker det inte med att ha en säker farkost. Regler och tillvägagångsätt kring pilotutbildning, markpersonal, underhåll och service, laddning och brandsäkert har fortfarande inte klargjorts. Detsamma gäller vertiports där man har producerat material kring utformning och krav, men även där är det många frågor som återstår att besvara. Under 2022 kommer Urban air-ports att bygga sin första vertiport i Coventry som ligger centralt i England. Vertiporten är av pop-up typ och är inte en fullt fungerade vertiport utan mer en demonstration som ska senare packas ihop och visas runt i olika städer i Storbritannien [33].

Litteraturen och intervjuerna har visat att marknaden initialt kommer att vara liten med kapitalstarka kunder som kan tänkas spendera mycket mer än vad en vanlig färd i en bil kostar för att slippa färdas på marken i den långsamma biltrafiken. Ny och dyr teknik går ofta den här vägen för att etablera sig och för att börja få ner kostnaderna och göra tjänsten tillgänglig för fler. Joby är den enda leverantör som har visat hur mycket en resa kommer att kosta, man räknar med \$3 per passagerare och mile och det motsvara ca 20kr per km. Jämför man priset med att åka taxi samma sträcka så är priset ca 3 gånger dyrare med S4:an som flygtaxi. Priset kommer att vara högre än \$3 per passagerare och mil från början då utbudet är begränsat och det medför att endast de som har råd att betala kommer ha tillgång till tjänsten. Detta påverkar acceptansen för den nya trafiken då den är synlig och åskådliggör inkomstskillnaderna i samhället.

6.2 Miljö och samhälle

I en studie gjord av Airbus identifierades de viktigaste aspekterna för samhällets acceptans för den nya flygtrafiken. Överst på listan är säkerheten, folk upplever att farkoster med propellar är inte lika säkra som farkoster med vingar. Det är viktigt att man beskriver tekniken med positiva ordalag och undviker att använda ord som Uber för luften då det kan ge uppfattningen att farkosten framförs av osäkra piloter. Buller står som det andra hindret. Då

det nya flyget inte har upplevts än av allmänheten så dras ofta paralleller med helikoptrar, men eftersom eVTOLs buller uppstår främst vid start och landning är det viktigt att dessa platser väljs noggrant för att öka samhällets acceptans. Som tidigare nämnts är ekonomisk jämlikhet en viktig faktor, den nya flygtrafiken ska vara tillgänglig för alla, om folk ser flyget som ett sätt för rika att färdas likt helikoptrar så minskar chansen för att man ser positivt på tekniken. Om det nya flyget endast skapar negativa effekter för gemene man med ökat buller och säkerhetsrisker, men inte gör tjänsten till denne, kan det få en stor negativ effekt [50].

Ett stort argument för det nya flyget är att man vill möjliggöra snabba transporter med noll utsläpp. Jämför man energiförbrukningen för en eVTOL med elektrisk bil eller en konventionell bil med fossila bränslen så visar det sig att utsläppen från en eVTOL och elbil beror på el-mixen för det landet där den brukas. För USA så står endast 20% av el-mixen av förnybara källor och 19% av kärnkraft [51]. Varje kWh elektricitet som producerades i USA släppte i genomsnitt ut 0,3825 kg CO₂ [52]. Det innebär att en flygning på 38 km som förbrukar 30kwh släpper ut 0,3 kg CO₂ per km och 11.4kg CO₂ totalt. Enligt tyska bilägarorganisationen ADAC förbrukar en medelstor elbil ca 20KWh per 100 km eller 0,2KWh/km [53]. Med en amerikansk el-mix skulle motsvarande bilresa på 38km med en elbil förbruka 7,6Kwh el och släppa ut 2,9 kg CO₂ eller 0,076kg CO₂/km. En bil med förbränningsmotor släpper ut mellan 110-140 g CO₂ per km och räknar man med en bil som släpper ut 125 g CO₂/km så skulle samma resa släppa ut 4,75 kg CO₂ alltså mindre än hälften av vad eVTOL släpper ut [54]. Siffrorna visar att miljöargumentet är svagt, särskilt när man tittar på den amerikanska marknaden och även när man jämför med en bil med förbränningsmotor. Men man bör ändå beakta att utsläpp från elproduktion kan variera mellan regioner och säsonger och trenden inom världen är att gå över till fossilfria alternativ. Skulle eVTOL och drönare flyga i Sverige så skulle utsläppen minska drastiskt då Sveriges el-mix är mestadels fossilfritt, men Sverige har inte samma problem med tät trafik i stadsmiljö och tidsvinsten för att flyga inte är lika stor som i tätbebyggda metropoler som Los Angeles. Beräkningarna visar ändå att det mest miljövänliga sättet att tillryggalägga de 38 km är med en elbil.

6.3 Flygplatsintegrering

Tre alternativa scenarios har tagits fram för hur en integrering av eVTOL/drönare kan ske på flygplatser.

6.3.1 Airside

Det här scenariot beskriver en integration i den ordinarie flygtrafiken på den säkerhetskontrollerade sidan av terminalen. Farkosterna skulle starta, landa och angöra precis som vanliga flygplan. Från intervjuerna framgår det att det här är det mest problematiska scenariot då farkosternas on-demand schemaläggning skulle vara ett hinder för det ordinarie flyget. En studie gjord på Hamburgs flygplats visade att om ordinarie start och landningsbanor användes för ”flygtaxi” så skulle det skapa förseningar redan vid ett fåtal start och landningar per timme [55]. En annan nackdel kan vara att ifall att passagerare inte ska flyga med ordinarie flyg så är det långt till övrig trafik.

Fördelar med här scenariot är att passagerare som ska flyga med eller kommer med ordinarie flyg har närhet till nästa farkost, de är säkerhetskontrollerade och kan ta sig vidare till eVTOL eller till ordinariieflyg utan extra kontroller.

Ett förslag som har diskuterats är att passagerare skulle genomgå säkerhetskontroller innan man kliver på eVTOL på en vertiport innan man flyger till flygplatsen och därmed avlasta flygplatsens resurser men vid intervjuer har det framgått att säkerhetskontroller är komplexa och dyra så det kanske inte är möjligt att ha dom på många platser utanför flygplatsen.

6.3.2 Landside

I Landside scenariot liknar eVTOLs mer matartrafik till flygplatsen. Man anländer på parkeringssidan på samma sätt som idag om man färdas med bil, buss eller tåg till flygplatsen. Landside är mindre problematiskt för flygplatserna då man redan har kunskap kring hur passagerare tas emot från den här sidan och det här scenariot upplevs som mest troligt efter genomförda intervjuer. Tidsvinsterna är inte lika stora som Airside för passagerare som fortfarande måste genomgå incheckning och säkerhetsprocedurer. Närheten till terminalen kräver också utrymme som redan idag är begränsat men möjligheter finns att bygga landningsplatser på garagetak och erbjuda en snabbare väg in till flygplatsen för eVTOL passagerare.

6.3.3 Landside remote

I det här scenariot så flyger eVTOL till en plats längre bort från terminalerna och passagerare får färdas den sista biten med internbuss eller dylikt. Det här scenariot är minst troligt då all tidsvinst som resan med eVTOL har skapat försvinner i den sista skedet.

6.4 Hur har andra flygplatser/städer gjort?

I dagsläget har ingen flygplats integrerat eVTOLs i sin verksamhet men planer finns på flera håll i världen. De italienska flygplatserna i Rom, Venedig, Bologna och franska Cote d'Azur har skapat ett samarbete med namnet Urban blue där man avser att börja bygga vertiports på flygplatserna. Arbetet sker i samråd med tillverkaren Volocopter [56]. Lillium har upprättat partnerskap med flera flygplatser i Tyskland för att utveckla vertiports [57]. Ett av dessa är Munchens flygplats som också samarbetar med Urban Air-ports för att bygga vertiports [58]. Förutom det ovannämnda bedrivs det vertiportprojekt över hela världen [59].



Figur 15 vertiportprojekt runtom i världen, från [60]

7 Slutsats

Examensarbetet har visat att det nya flyget har en del utmaningar på sin väg till att bli en del av framtidens flygtrafik. Den tekniska analysen visar att batteritekniken i dagsläget är en begränsande faktor både för räckvidd och kapacitet men att utvecklingen går åt rätt håll mycket tack vare den växande elbilsmarknaden som agerar draglok för tekniken.

Flygtekniken är en mindre begränsande faktor än batteritekniken då många testtimmar har flugits av tillverkarna och de mindre komplexa systemen är väl beprövade i mindre skala. Det råder en större osäkerhet kring de lösningar som förlitar sig på vridbar kraft på grund av den ökade komplexiteten. Det här kommer att påverka hur lång tid certifieringsprocessen kommer att ta. I dagsläget finns det ingen certifierad eVTOL och tillverkarna anger 2024 men erfarenhet från andra certifieringsprocesser har visat att det kan ta mycket längre tid.

Arbetet har identifierat de största aktörerna på marknaden och dessa är: Joby, Lilium, Beta, Archer, Vertical Aerospace, Airbus, Wisk och Kittyhawk.

Hur ska Swedavia förhålla sig till den nya flygtrafiken? Operatörerna ser flygplatserna som en av flera möjliga start och landningsplatser där passagerare kan flyga vidare på sin resa. De tre stora flygplatsernas har komplexa luftrum som skapar stora utmaningar som behöver mötas för att integrera trafiken, medans det mindre regionala flygplatserna har en större möjlighet att integrera det nya flygfarkosterna och erbjuda ett större utbud till deras resenärer. Resultatet från intervjuerna och workshopen som hållits har visat att den lösningen som är mest troligt är "Landside" scenariot där resenärer använder eVTOLs för att snabbt ta sig till det tre stora flygplatserna, i det här scenariot kan Swedavia erbjuda tjänster för start och landningsplatser, laddning, service, underhåll och säkerhet.

För att det här ska bli en verklighet behövs att certifieringen av farkosterna gå enligt planerna och att utvecklingen av reglerna för luftrummen anpassas för det nya flyget. Det sistnämnda är det som arbetet har identifierat som den process som kommer ta mest tid, men det drivs flera projekt inom EU och Sverige för att gör det möjligt för den nya flygtrafiken att samsas i luften med övriga farkoster i luften. U-space är ett koncept framtaget av EU med nya digitala tjänster, procedurer och lösningar framtagna för att skapa en säker och effektiv tillgång till luftrummet för drönare och andra farkoster inom UAM.

Flera leverantörer av drönare och eVTOLs har slutit avtal med operatörer som planerar att börja erbjuda transporter inom kort. Det är författarens uppfattning att man från Sveriges håll bör bevaka hur dessa tidiga operatörer i världens mer tätbefolkade länder kommer att prestera och vilka lärdomar det finns att dra från deras lansering samtidigt som man bör jobba vidare med att anpassa luftrummen. För det spelar ingen roll hur mycket infrastruktur man har på marken, kan flygfarkoster inte samsas i luften så kommer den nya flygtrafiken inte att realiseras oavsett batteriteknik.

8 Källförteckning

- [1] “Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation,” 2016. [Online]. Available: <http://inrix.com/scorecard/>
- [2] J. B. Goodenough and K. S. Park, “The Li-ion rechargeable battery: A perspective,” *J Am Chem Soc*, vol. 135, no. 4, pp. 1167–1176, Jan. 2013, doi: 10.1021/JA3091438.
- [3] M. Winter, “The solid electrolyte interphase - The most important and the least understood solid electrolyte in rechargeable Li batteries,” *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol. 223, no. 10–11, pp. 1395–1406, Dec. 2009, doi: 10.1524/ZPCH.2009.6086/MACHINEREADEABLECITATION/RIS.
- [4] “Chalmers Open Digital Repository: Thermal Management of a Battery Electric Vehicle: How thermal management strategies can improve the performance of a battery electric vehicle for various driving cycles and conditions.” <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/303772> (accessed Mar. 17, 2022).
- [5] “Chalmers Open Digital Repository: Predicting Cycle Life of NMC Cells by Discharge Capacity Voltage Curves.” <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/302038> (accessed May 18, 2022).
- [6] “BU-205: Types of Lithium-ion - Battery University.” <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion> (accessed Mar. 17, 2022).
- [7] Y. Ding, Z. P. Cano, A. Yu, J. Lu, and Z. Chen, “Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives,” *Electrochemical Energy Reviews 2019 2:1*, vol. 2, no. 1, pp. 1–28, Jan. 2019, doi: 10.1007/S41918-018-0022-Z.
- [8] P. Nathen, A. Bardenhagen, and J. Taylor, “Architectural performance assessment of an electric vertical take-off and landing (e-VTOL) aircraft based on a ducted vectored thrust concept.”
- [9] A. Bacchini and E. Cestino, “Electric VTOL configurations comparison,” *Aerospace*, vol. 6, no. 3, Mar. 2019, doi: 10.3390/AEROSPACE6030026.
- [10] “L/D Ratio.” <https://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/ldrat.html> (accessed May 18, 2022).
- [11] A. Bacchini and E. Cestino, “Key aspects of electric vertical take-off and landing conceptual design:,” <https://doi.org/10.1177/0954410019884174>, vol. 234, no. 3, pp. 774–787, Nov. 2019, doi: 10.1177/0954410019884174.
- [12] “Special Condition for VTOL and Means of Compliance | EASA.” <https://www.easa.europa.eu/document-library/product-certification-consultations/special-condition-vtol#group-easa-related-content> (accessed May 17, 2022).
- [13] “eCFR :: 14 CFR 135.209 -- VFR: Fuel supply.” <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-G/part-135/subpart-D/section-135.209> (accessed May 17, 2022).
- [14] “Advanced Air Mobility Reality Index.” <https://aamrealityindex.com/> (accessed May 13, 2022).
- [15] “Joby S4.” <https://evtol.news/joby-s4> (accessed May 23, 2022).
- [16] “NTSB: Joby experienced a ‘component failure’ during February crash - evtol.com.” <https://evtol.com/news/ntsb-joby-experienced-component-failure-during-february-crash/> (accessed May 23, 2022).
- [17] “Electric VTOL for Organs on Demand.” <https://evtol.news/news/electric-vtol-for-organs-on-demand> (accessed May 13, 2022).

- [18] “Beta Technologies ALIA.” <https://evtol.news/beta-technologies-alia/> (accessed May 23, 2022).
- [19] “Lilium Jet.” <https://evtol.news/lilium/> (accessed May 23, 2022).
- [20] “NTSB: Software timing error led to Heaviside eVTOL crash - evtol.com.” <https://evtol.com/news/ntsb-report-heaviside-evtol-crash/> (accessed May 18, 2022).
- [21] “Wisk Aero Cora (Generation 5).” <https://evtol.news/kitty-hawk-cora/> (accessed May 23, 2022).
- [22] “Kitty Hawk Heaviside.” <https://evtol.news/kitty-hawk-heaviside/> (accessed May 23, 2022).
- [23] “Archer Maker.” <https://evtol.news/archer-maker> (accessed May 23, 2022).
- [24] “Vertical Aerospace VX4.” <https://evtol.news/vertical-aerospace-VA-1X> (accessed May 23, 2022).
- [25] “Airbus Urban Mobility CityAirbus NextGen.” <https://evtol.news/airbus-cityairbus-nextgen> (accessed May 23, 2022).
- [26] V. Salehi and S. Wang, “APPLICATION OF MUNICH AGILE CONCEPTS FOR MBSE AS A HOLISTIC AND SYSTEMATIC DESIGN OF URBAN AIR MOBILITY IN CASE OF DESIGN OF VERTIPOINTS AND VERTISTOPS,” *Proceedings of the Design Society*, vol. 1, pp. 497–510, 2021, doi: 10.1017/PDS.2021.50.
- [27] Easa, “Vertiports Prototype Technical Specifications for the Design of VFR Vertiports for Operation with Manned VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category (PTS-VPT-DSN),” 2022.
- [28] “Volocopter and Skyports to continue collaborating on VoloPorts - evtol.com.” <https://evtol.com/news/volocopter-skyports-continue-collaborating-voloports/> (accessed Apr. 08, 2022).
- [29] “Volocopter details its VoloPort design in a newly created handbook - evtol.com.” <https://evtol.com/news/volocopter-handbook-voloport-design-evtol/> (accessed Apr. 08, 2022).
- [30] “EHang | EHang Partners with Giancarlo Zema Design Group to Build Eco-Sustainable Vertiport in Italy.” <https://www.ehang.com/news/746.html> (accessed May 18, 2022).
- [31] “Ferrovial and Lilium to develop US vertiport network.” https://newsroom.ferrovial.com/en/press_releases/ferrovial-lilium-vertiport-agreement/ (accessed May 18, 2022).
- [32] “U.K. Vertiport Startup Sells Stake to Hyundai’s Flying-Taxi Arm - Bloomberg.” <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-01-20/u-k-vertiport-startup-sells-stake-to-hyundai-s-flying-taxi-arm> (accessed May 18, 2022).
- [33] “‘World’s first’ Urban-Air Port starts construction in Coventry – Coventry City Council.” <https://www.coventry.gov.uk/news/article/4121/-world-s-first-urban-air-port-starts-construction-in-coventry> (accessed May 18, 2022).
- [34] S. Sripad and V. Viswanathan, “The promise of energy-efficient battery-powered urban aircraft,” *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 118, no. 45, Nov. 2021, doi: 10.1073/PNAS.2111164118.
- [35] “Joby Aviation Analyst Day,” 2021. [Online]. Available: <https://www.reinventtechnologypartners.com>
- [36] A. Manthiram, “A reflection on lithium-ion battery cathode chemistry,” *Nature Communications* 2020 11:1, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, Mar. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-15355-0.
- [37] T. Kim, W. Song, D.-Y. Son, L. K. Ono, and Y. Qi, “Lithium-ion batteries: outlook on present, future, and hybridized technologies,” 2019, doi: 10.1039/c8ta10513h.

- [38] J. Lee *et al.*, “Reversible Mn²⁺/Mn⁴⁺ double redox in lithium-excess cathode materials,” *Nature* 2018 556:7700, vol. 556, no. 7700, pp. 185–190, Apr. 2018, doi: 10.1038/s41586-018-0015-4.
- [39] C. Zhang *et al.*, “Challenges and Recent Progress on Silicon-Based Anode Materials for Next-Generation Lithium-Ion Batteries,” *Small Structures*, vol. 2, no. 6, p. 2100009, Jun. 2021, doi: 10.1002/SSTR.202100009.
- [40] “AMPRIUS TECHNOLOGIES SHIPS FIRST COMMERCIALY AVAILABLE 450 Wh/kg, 1150 Wh/L BATTERIES | Amprius.” <https://amprius.com/corporate-announcements/amprius-technologies-ships-first-commercially-available-450-wh-kg-1150-wh-l-batteries> (accessed May 18, 2022).
- [41] M. A. Azam, N. E. Safie, A. S. Ahmad, N. A. Yuza, and N. S. A. Zulkifli, “Recent advances of silicon, carbon composites and tin oxide as new anode materials for lithium-ion battery: A comprehensive review,” *Journal of Energy Storage*, vol. 33, p. 102096, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.EST.2020.102096.
- [42] M. Hu, Y. Wang, and D. Ye, “A Timely Review of Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles: Progress, Future Opportunities, and Challenges,” *E3S Web of Conferences*, vol. 308, p. 01015, 2021, doi: 10.1051/E3SCONF/202130801015.
- [43] I. S. Cto, “High Energy Density Lithium-Ion Cells with Silicon Nanowire Anode Technology.”
- [44] S. Ma *et al.*, “Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review,” *Progress in Natural Science: Materials International*, vol. 28, no. 6, pp. 653–666, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.PNSC.2018.11.002.
- [45] M. Brunström, “Life-cycle Assessment and Energy Systems Analysis of Second-life Li-ion Batteries.”
- [46] “Lilium NV – The Losing Horse in the eVTOL Race | Iceberg Research.” <https://iceberg-research.com/2022/03/14/stronglilium-nv-the-losing-horse-in-the-evtol-racenbsp-strong/> (accessed May 17, 2022).
- [47] “100% Silicon Nanowire* Batteries from Amprius Technologies | amprius.com.” <https://amprius.com/technology> (accessed May 17, 2022).
- [48] “QuantumScape update: Solid-state cells will cut EV charging time in half and increase volumetric density over 50% - Electrek.” <https://electrek.co/2022/04/26/quantumscape-updates-q1-2022-report-includes-new-16-layer-solid-state-cell-and-scaled-manufacturing/> (accessed May 17, 2022).
- [49] “Italy’s Leonardo expects FAA certification of AW609 tilt-rotor next year | Reuters.” <https://www.reuters.com/article/emirates-expo-leonardo-idUSKBN2GT03M> (accessed May 18, 2022).
- [50] “[PDF] An Assessment of Public Perception of Urban Air Mobility (UAM) | Semantic Scholar.” <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Assessment-of-Public-Perception-of-Urban-Air-Yedavalli/f4641304ae7082a61d9cd82905917ce694a120c4#references> (accessed May 17, 2022).
- [51] “Electricity in the U.S. - U.S. Energy Information Administration (EIA).” <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php> (accessed May 17, 2022).
- [52] “Frequently Asked Questions (FAQs) - U.S. Energy Information Administration (EIA).” <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11> (accessed May 17, 2022).
- [53] “Elektroauto: Reichweite & Stromverbrauch im Vergleich | ADAC.” <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/> (accessed May 17, 2022).

- [54] “CO2 performance of new passenger cars in Europe.”
<https://www.eea.europa.eu/ims/co2-performance-of-new-passenger> (accessed May 17, 2022).
- [55] N. Ahrenhold, O. Pohling, S. Schier-Morgenthal, M. Samà, Z. Huang, and A. Sharpanskykh, “Impact of Air Taxis on Air Traffic in the Vicinity of Airports,” *Infrastructures 2021, Vol. 6, Page 140*, vol. 6, no. 10, p. 140, Oct. 2021, doi: 10.3390/INFRASTRUCTURES6100140.
- [56] “Rome and other airports launch Urban Blue to build eVTOL vertiports - evtol.com.”
<https://evtol.com/news/urban-blue-airports-partner-evtol-vertiports/> (accessed May 23, 2022).
- [57] “Lilium names Munich and Nuremberg airports as future eVTOL hubs - evtol.com.”
<https://evtol.com/news/lilium-names-munich-nuremberg-airports-evtol-hubs/> (accessed May 23, 2022).
- [58] “Munich Airport International partners with Urban-Air Port - evtol.com.”
<https://evtol.com/news/munich-airport-international-urban-air-port-evtol-infrastructure/> (accessed May 23, 2022).
- [59] “Advanced Air Mobility Reality Index.” <https://aamrealityindex.com/> (accessed Mar. 02, 2022).
- [60] “SMG Consulting unveils AAM Reality Index, February 2022 Release.” <https://smg-consulting.com/news/f/smg-consulting-unveils-aam-reality-index-february-2022-release> (accessed Mar. 02, 2022).

9 Appendix

9.1 Intervjufrågor och svar

	Intervju Anette Näs Swedavia	Datum: 2022-04-27
	Frågor	Svar
	Generella frågor	
1	<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönar/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	<p>Det som talar för är att det är ett stort tryck med stort fokus. LFV har fått uppdraget att se över UTM, det som talar emot det är att det är knivigt att få ihop den här verksamheten med det civila flyget. Pratar vi om aktörer som kan flygbranschen så är det lättare men saknas kunskapen så kommer det bli en större utmaning.</p> <p>Flygsystemen kräver en gedigen kunskap och erfarenhet, det är det som ligger grund för den höga flygsäkerheten.</p>
2	<p>Många är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	<p>Det får vi väl se, krävs en hel del utveckling innan man vågar släppa upp passagerare. Men det finns ingen anledning att hindra utvecklingen, man bör titta på alla spår och löpa linan ut. Jag är positiv till båda inriktningarna. Det finns andra aspekter också som autonomflygning men man måste börja någonstans.</p>
3	<p>Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?</p>	<p>5-10 år går fort men det gör utvecklingen också. Det är många framdrivningskoncept som utvecklas. Svårt att tränga igenom vad som är bra marknadsföring och vad som är bra teknik.</p>
4	<p>Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?</p>	<p>Inte för 5-10 år, det är en för stor utmaning. Inom LFV så har luftrumsprojekt för konventionellt civilflyg tagit väldigt många år. Att då att släppa in en ny flygtyp kommer ta väldigt lång.</p>
	Batteri	
5	<p>Hur ser du på den nuvarande batteritekniken?</p>	
6	<p>Är det ett hinder i dagsläget?</p>	

7	Räknar du med några större förändringar kring batteritekniken dom närmaste 3 åren?	

	Säkerhet	
8	Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare/eVTOL?	Att man ska hamna i konflikt med civila och militära flyget. Att det ska bli kollision, att det sker underskridanden av separationskriterier. Det blir det om man inte har samma krav på expertis.
	Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
9	Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser du med drönare/eVTOL?	Vi på Swedavia pratar mycket om intermodalitet, vi vill att flyget ska vara en del av kollektivtrafiken, alla är olika delar med olika för och nackdelar, den kan vara ett komplement mellan stora flygplatser där det inte bär sig med stora flygplan. Att man knyter ihop olika trafikslag, vi ska inte konkurrera utan samarbeta.
	Övrigt	
10	Vilka anpassningar ser du att Swedavia måste göra för att möta drönar/eVTOL marknaden?	Om vi tittar på luftrummet med in och utflygningar och rullbanor, ska man flyga i kontrollerad luft, hur ska dom här kommunicera med ATC, vad krävs prestandamässigt ,utrymmesmässigt och separationsmässigt. Om en evtol kommer in behöver den vara separerad på ett visst sätt för att inte påverka den ordinarie flygtrafiken. Vanligt flyg åker in som ett pärlband medans dessa ska flyga mer on demand. Hur ska man prioritera deras inflygning relativt ett stort flygplan med flera hundra passagerare? Väder är också en viktig aspekt. Men kan inte se dom i dåligt väder.
11	Vilka är de stora utmaningarna för Swedavia kopplat till denna utvecklig?	

Aviant Herman Øie Kolden	Datum: 2022-04-08
Frågor	Svar
Generella frågor	
<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönare/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	<p>För drönare helt klart, det är det vi håller på med. Men det var inte så länge sen det börja, kanske 5 års sen. Men nu finns det många kommersiella projekt. För evtol är det svårare med säkerhetskrav. Jag är mer osäker på om det går, möjligt inom ett par år men vi är inte där än. För drönare vi redo.</p>
<p>Många är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	<p>Godstransporter är det bra. Osäker på passagerare. Det beror lite på LIB tekniken.</p>
<p>Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?</p>	<p>Det går att beställa en drönare för få leveranser utförda, från vilken punkt till punkt som helst. Vi tror att evtol kommer vara en snabb lyxtransport inom regionen. Det kommer att vara mer brukat utanför tätbebyggda områden där det redan finns infrastruktur.</p>
<p>Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?</p>	<p>Svårt att säga, till en viss grad tror jag att poängen är att man inte ska använda flygplatser. Men praktiskt sett så kommer flygplatser agera som nav i transportkedjor. Men flygplatser behöver större kapacitet, större farkoster.</p>
<p>Vad söker ni för lyfttkraft?</p>	<p>Den drönare vi har nu en kapacitet på 1kg, väger ca 12kg, 6kg batterier och 6 kg drönare, vi har en större på 25 kg, som kan lyfta 5 kg.</p>
Batteri	
<p>Hur ser ni på den nuvarande batteritekniken?</p>	<p>Det fungerar bra nog för oss men det är klart vi vill ha bättre batterier, en svår punkt för oss är att estimerar hur mycket batteri vi har kvar då vi flyger ganska långt. Vi vill inte landa innan vi kommer fram. Under resans gång så förändras temperaturen och spänningen och drönaren tolkar det som att den har slut på batteri och behöver landa. En för optimisk estimering kan innebära en krasch. För vår del skulle vi vilja ha mindre batterier men med säker estimering. Vi använder hobbybatterier men skulle vilja</p>

	<p>övergå till mer säkra industriella batterier. Bättre batterikapacitet innebär mindre känslig estimering. Vi ser att semisolid-state batterier med 10-20% högre kapacitet börjar introduceras. vi håller ett öga på elbilsbranschen.</p>
Är det ett hinder för er i dagsläget?	
Räknar ni med några större förändringar kring batteritekniken dom närmaste 3 åren?	Kanske övergång till semisolid-state. Annars tror vi på en inkrementell ökning av kapaciteten.
Buller	
Är buller något som påverkar er produkt och verksamhet?	Inte idag men vi räknar att det kommer att göra det. Vi flyger en fixedwing med en motor som piper lite grann, det är inte ett buller. man hör att den är nära. Vid takeoff och landning så låter det mer men då är vi på plats. Vid flygningar i norra Sverige så stämmer vi av med t. ex sametinget så vi inte stör deras verksamhet
Designar ni med buller i åtanke?	Det är längre fram, vi ser effekter när vi har bytt till mer avancerade propellrar och när vi har mer resurser så kommer vi lägga mer tid på det.
Utför ni bullermätningar på era produkter och tjänster?	nej

Säkerhet	
Hur arbetar ni med säkerhet vid dom olika stadierna av transporten? 1. Start/landning 2. Vid marschflyg	<p>Start/landning: Vi gör en grundlig analys av riskerna, kartlägger befolkningstäthet, skolor, köpcenter, terräng och höjder. Vi har 1:3 i säkerhetsavstånd. När vi flyger på 60 meter så håller vi 180 m avstånd till bebyggelse.</p> <p>Vid marschflyg: Vi har över 200 landningsplatser ifall att drönaren tappar kontakten till ledningen.</p>
Hur ser behovet ut av kontrollcenter/ledningscentral?	Det spelar ingen roll, piloten kan sitta vart som helst.
Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare?	Vi kan inte peka på en, men den med störst konsekvens är att någon propeller inte fungerar när vi går över till landning. Vid missionplanning så har vi en single point of failure, att vi förhandprogrammerar färdplanen och gör fel och den går ner. Annars är fritidsflyg som inte kontrollerar NOTAM och bara flyger utan transponder. Då kan inte drönare väja för dem.
Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser ni med era drönare?	Nu är det att vi ska kunna utföra on-demand leveranser. Det är nummer ett. Och sprida det till så många ställen som möjligt.

	Intervju Everdrone Mat Sällström	Datum: 2022-04-26
	Frågor	Svar
	Generella frågor	
1	<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönar/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	<p>Nej, det tycker jag inte. Det finns inga certifierade fordon av den typen, marknadsmässigt har inte ett businesscase gått ihop än. Ny typ av tjänst som är kopplad till det fordonet.</p>
2	<p>Många är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	<p>Generellt för drönare är kapaciteten en utmaning, man måste hitta ett usecase där drönare är rätt lösning på problemen. Det beror på vilken typ av transporter som man utför. Drönare har ett syfte att fylla men det är fortfarande svårt att veta vad det är.</p>
3	<p>Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?</p>	<p>Persontransporter kommer att vara en lyxprodukt, en tjänst som kommer att erbjudas till dom som har råd. Kommer också att användas för specialuppdrag, sjuktransporter och räddning, polis men jag tror inte på en massmarknad. Mindre drönare kommer att växa för specifika användningsområden. Där ser jag en större tillväxt. Övriga transporter är mer osäkert.</p>
4	<p>Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?</p>	<p>Inte en stor roll överlag men initialt betydande. Poängen med dom nya maskinerna är att dom ska kunna starta och landa på mindre flygplatser och vertiports. Över tid kommer flygplatsernas roll att minska.</p>
	Batteri	
5	<p>Hur ser ni på den nuvarande batteritekniken?</p>	<p>Det är ett hinder, det begränsar applikationsmöjligheterna och affärsmöjligheterna.</p>
6	<p>Är det ett hinder för er i dagsläget?</p>	

7	Räknar ni med några större förändringar kring batteritekniken dom närmaste 3 åren?	Inga större förändringar.
	Buller	
8	Är buller något som påverkar er produkt och verksamhet?	nej
9	Designar ni med buller i åtanke?	Vi bygger inte maskiner, vi köper färdiga airframes
10	Utför ni bullermätningar på era produkter och tjänster?	nej

	Säkerhet	
11	Hur arbetar ni med säkerhet vid dom olika stadierna av transporten? 3. Start/landning 4. Vid marschflyg	<p>Start/landning:</p> <p>Säkerställer att start/land platsen är säker och avspärrad för obehöriga. Vi försöker att placera platserna på ställen där människor inte uppehåller sig. Vi håller ett avstånd på 100m till bebyggelse</p> <p>Vid marschflyg:</p> <p>Vi har en rad åtgärder vid marschflyg, dom mest konkreta är ruttplaneringsverktyg, fallskärmsystem vid katastrofal händelser. Vi koordinerar vår operation med ATC, flygtrafikledningen, vi säkerställer vårt luftrum.</p>
12	Hur ser behovet ut av kontrollcenter/ledningscentral? Nytta med flygplats?	<p>Ja det är inget hinder för oss i dagsläget, vi har mjukvara och fysiska platser som vi behöver.</p> <p>Nej inte i vårt fall.</p>
13	Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare?	<p>Vi lägger mest fokus på luftvärdigheten, airrisk är viktigare än groundrisk, vi jobbar med ATC och säkerställer det så. Luftvärdigheten är ett mer komplext problem med fler komponenter, både operativa och tekniska, främst tekniska.</p>
	Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
14	Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser ni med era drönare?	<p>Vi tror mycket på akutmedicinska transporter och first responder verksamhet, strömma video och info till larmcentralen. Inom blåljusverksamhet ser vi vår största möjligheter.</p>

	Intervju IBG Kim Silander	Datum: 2022-05-06
	Frågor	Svar
	Generella frågor	
1	<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönar/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	<p>Ja och nej, Ja för att du kan certifiera drönare idag för att användas i marknaden, nej för att marknaden kräver infrastruktur som inte är certifierbar. T.ex. att du kan certifiera själva fordonet men inte vertiports, regelverket kommer 2024, Uospace kommer 2023-2024. Och det är dom 2 komponenter som behövs för att kunna ha ett luftrum så att det går att flyga över våra städer och för att kunna övervaka den ifall något händer och att vi har processer på plats, det här är en teknik som är utvecklat för okontrollerade luftrummet och ska samverka med det kontrollerade luftrummet.</p>
2	<p>Många är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	<p>Jag tror att den lämpad för det, men man väljer fordonstyp efter vad som är lämpad för dig som person. Har du en stor tidsbesparing att flyga över berg och tät trafikerade städer så är det lämpligt. 2-7 passagerare pratar man om. Det är inte masstransit. Men det kan få en stad att växa. Exempel 15 minuters staden. En stad utanför storstäder där man har tillgång till allt som behövs i en stad där det tar 15 min att ta sig överallt, med luftburen trafik kommer man längre.</p>
3	<p>Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?</p>	<p>Det första man kommer se är utökade drönarleveranser, det ser man redan idag, finns leveranser av mat och mindre frakt på andra ställen. Personliga drönare kommer vi också att se pga. en stark investeringsflora som vill att dom ska börja flyga så fort som möjligt. Om man tar uber som grund, när dom rullade ut tjänsten fanns infrastruktur. I jobys fall så saknas infrastrukturen, dom måste åka till ställen där infrastrukturen finns. Det är en industri utan vägar och landningsplatser. Vi kommer se en exponentiell tillväxt på platser där det är utvecklat. Det kommer att vara attraktivt för städer att locka till sig den här trafiken.</p>
4	<p>Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?</p>	<p>Varför ska man sätta en vertiport på en flygplats? flygplatsen har en viktig roll om du ska ta dig utrikes, flygplatsen har färdig infrastruktur i kontrollerad miljö, som</p>

		framtidens vagnhallar. Där det finns utbildad personal, de-icing faciliteter och mycket investeringar i det gröna flyget, el och vätgas. Finns mycket markområden i regionala flygplatser. Flygplatsens roll kommer att vara viktigt men i en förändrad roll. När räckvidden ökar så kommer flygplatsen tappa inrikesflyget. Lättare att hoppa på en drönare från din startpunkt som flyger direkt istället för att ta sig till flygplatsen .men flygplatsen kommer vara en servicepunkt och skapa utrikesdestinationer.
	Batteri	
5	Hur ser ni på den nuvarande batteritekniken?	Jag tror att drönare som går på batteri kommer att gå på vätgas, vätgasen ger billigare infrastruktur och snabbare laddning. Långdistans med vätgas och kort distans ,ed batteri. Första vågen går på batteri och andra på vätgas.
6	Är det ett hinder i dagsläget?	
7	Räknar ni med några större förändringar kring batteritekniken dom närmaste 3 åren?	Batterier kommer bli bättre och en grönare tillverkningsprocess.
	Buller/miljö	
8	Hur ser ni på utvecklingen av drönare/eVTOL kopplat till ljud-/bullerpåverkan?	Den största boven i det vanliga flyget är våran hörsel. Dom omvägar vi får flyga pga. buller har kostat samhället i utsläpp, vi utnyttjar inte infrastruktur som finns. Buller är subjektiv. Självklart ska man hålla ner ljudnivå, det är under start och landning som det låter. Men det ska vägas mot det minskade buller från vägtrafiken. Det är viktigt att kommunicera den här skillnaden och debatterar det här för att hitta en kompromiss. Det är viktigt att hitta platser och tider som passar för inflygning.
9	Hur ser ni på utvecklingen av drönare/eVTOL kopplat till miljöpåverkan?	Det finns miljövinster, det är det grönaste sättet att ta sig från A till B. väg och järnväg har en stor co2 skuld, flyg har ingen co2 skuld för sin infrastruktur. Du får en större täckning med mindre utsläpp.
	Säkerhet	
10	Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare/eVTOL?	Man skiljer safety och security.

		<p>Vi börjar med security: jag ser ingen skillnad på det och vanliga fordon, bil, det är ingen masstransit. Anledning till höga säkerhetskrav på flygplatser är att det är masstransit. När det gäller kapning, så kommer vi gå mot en autonom tid, anledningen till att man inte flyger autonomt är passagerarens uppfattning. I början kommer det att vara en pilot med men den flygs autonomt där piloten kan ta över. Men för kapning så är påverkan minimal från pilot.</p> <p>Safety: Olycksrisken är samma som idag, det är höga krav på tillverkning och flygning. Luftrummet byggs med safety i åtanke. Luftrummet kommer alltid ha tydliga regler.</p>
	Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
11	Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser ni med drönare/eVTOL?	Vi bygger landningsplatser och luftrum, men vi ser även en möjlighet för taxioperatörer, inte bara flygbolag. Restauranger kan använda en plats för att laga maten och skicka maten till försäljningspunkter. Shoppingcenter kan bli uppvisningsplats där varorna kan distribueras ut till kundernas hem.
	Övrigt	
12	Vilka anpassningar ser ni att IBG måste göra för att möta drönare/eVTOL marknaden?	Vår största showstopper är inte kundunderlag, det är tillståndprocessen vi känner en oro för. Om vi fick önska skulle vi påverka transportstyrelsen att tillsätta mer resurser för det här. Det finns 290 kommuner som ska börja bygga luftrum och aktörer som ska certifiera sin verksamhet.
13	Vilka är de stora utmaningarna för IBG kopplat till denna utveckling?	
		Alla flygplatser är kontrollerade luftrum därför måste vi hitta ett sätt att integrera Uospace med det kontrollerade luftrumets ATM.

	Intervju Johan Lindsten Swedavia	Datum: 2022-04-27
	Frågor	Svar
	Generella frågor	
1	<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönar/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	<p>Det är otrolig hype kring evtol drönare, elflyg, det satsas mycket pengar, uppenbarligen finns en stark tro. Det finns skarpa projekt inom frakt. Tidsplanen är optimistisk.</p>
2	<p>Många är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	<p>Det är för tidigt för att säga, däremot kan det finnas att man prövar tekniken, säkerheten och tillstånd med frakt innan man gör en satsning på passagerare. Om det går väl på fraktsidan så ser jag att det kan få ett genomslag på passagerarsidan.</p>
3	<p>Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?</p>	<p>Jag tror aktörer är optimistiska kring tidsplanen, historiskt sett har förändringar inom flyget vad gäller säkerhet, certifiering, utbildningar, tillstånd och tester tagit väldigt lång tid. Min uppfattning att inom 5 år kommer det inte ha en praktisk påverkan på flygplatserna, möjligt inom 10 år. Aktörerna behöver agera snabbt men flygplatsen har mer tid att följa utvecklingen.</p>
4	<p>Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?</p>	<p>Om det får genomslag, gäller det evtol så är transport till och från flygplats men det är på lång sikt. Vi har välutvecklade och billiga transporter till och från flygplatsen, bilar bussar och tåg. Evtol kommer att vara premiumprodukt från början men på lång sikt kan det få ett genomslag.</p>
	Batteri	
5	<p>Hur ser du på den nuvarande batteritekniken?</p>	<p>Jag får avböja då jag inte har kunskap om det här området. Men om elbilmarknaden är en indikation så kommer batteritekniken fortsätta utvecklas och mycket resurser satsas.</p>

	Säkerhet	
8	Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare/eVTOL?	Flygande farkoster kräver strikta protokoll. Generellt så har vi strikta regler kring en flygplats. Om tekniken får ett stort genomslag så kommer det krävs ett stort arbete kring säkerheten. Paralleller kan dras till självkörande bilar som fortfarande inte har införts i samhället. Hård mediabevakning kring olyckor.
	Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
9	Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser du med drönare/eVTOL?	Vi kan se runt våra stora flygplatser att vi har begränsad med kapacitet på väg och järnväg även om järnvägen har hög kapacitet. men jag tror att det avlastar kring ett stressat vägnät. Det kan vara en lösning till lastmile problemet men på väldigt lång sikt.
	Laddinfrastruktur finns kapacitet	Det är en komplex fråga, elbehovet kommer att öka i samhället. Överföringskapacitet behöver ökas. Flygplatsen har samma ställning som resten av samhället. Finns eventuellt en påverkan på flygsäkerhetsystem vid höga effekter nära start/landningsbanor. När vi har tittat på tågförbindelse ovan mark så är det här en stor punkt. Elektromagnetisk strålning.
	Övrigt	
10	Vilka anpassningar ser du att Swedavia måste göra för att möta drönar/eVTOL marknaden?	Om det finns en efterfrågan på det så behöver vi bygga terminaler för den här trafiken. Det finns mycket mark kring flygplatser, ju närmare terminal desto mer konkurrens om platsen. Kan byggas på garagetak. Garagetak är oftast minst attraktivt men det beror på garaget anslutning till terminal.
11	Vilka är de stora utmaningarna för Swedavia kopplat till denna utvecklig?	För elflyg ser jag laddkapacitet och laddinfrastruktur. Evtol är mer i sin linda och behöver flyga till många platser. Men det behövs hållplatser då dom inte kan landa hur som helst.
	Landside/airside	Ska flygplatsen ha den funktion som man har idag är landside(flygtaxi) mer naturligt, det viktiga är säkerheten för passagerare och bagage men kanske inte exakt vart på flygplatsen man landar. Airside är ganska trångt idag. På airside måste en fungerande affärsmodell tas fram så att man kan driva flygplatsen lönsamt.

	Intervju John Nilsson Swedavia	Datum: 2022-05-06
	Frågor	Svar
	Generella frågor	
1	<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönar/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	<p>Marknaden är inte mogen, det finns hel del hinder på vägen, reglermässiga hinder, säkerhetsbevisning och certifiering. Inte bara i luften men också på marken, i närheten av flygplatsen för transfererande passagerare. Det finns en misstro bland folk att man ska flyga elektriskt. Vad händer om batterierna tar slut. Det behövs tidiga användare.</p>
2	<p>Många är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	<p>Det är nog både ock, det beror på vilka affärsmodeller man använder. Räckvidden räcker för kortare sträckor, cityhopping, sthlm till Uppsala. I new york och andra metropoler finns den marknaden. Kostnaden kommer att vara hög precis som annan ny teknik. När det skalar upp så minskar kostnaderna.</p>
3	<p>Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?</p>	<p>I projektet GFW så har man börjat frakta blodprover och mjölkprover. Drönare är effektiva för små laster jämfört med bilar. Där finns det en marknad men den behöver större förståelse. Tyngre gods är en avvägning mellan räckvidd och kapacitet. Gods med högt värde per kg kommer i första hand att användas. Samma som flyg, det är den mer värdefulla lasten som behöver transporteras snabbt.</p>
4	<p>Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?</p>	<p>Det råder delade uppfattningar, det finns en marknad för flygtaxi. Då finns det ingen anledning att landa på flygplatsen om vi inte vill etablera kommersiellt trafik för att ta sig vidare på längre resor. Där blir flygplatsen att bli en multimodal nav. Det svåra är att personer med hög köpkraft och höga krav förväntar sig en smidig övergång till flygplatsen och då vill man placera vertiporten nära terminalen där det redan är ont om plats. Vi kommer inte att se det på airside i första hand. Det är nog svårt att säkerhetskontrollera personer när dom kliver på evtol i stan, det krävs dyr och komplex utrustning och kräver stor volym.</p>

	Batteri	
5	Hur ser du på den nuvarande batteritekniken?	Tekniken har utvecklats hela tiden men forskningen har många spår att följa. Om tekniken kommer upp till 400Wh/kg så finns det stor potential för tekniken inom flyg, i glesbygd där det saknas bättre kommunikationsmedel.
6	Är det ett hinder i dagsläget?	
7	Räknar du med några större förändringar kring batteritekniken dom närmaste 3 åren?	Det finns begräsningar och bränsleceller kanske är nästa steg.

	Säkerhet	
8	Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare/eVTOL?	När det gäller hantering på marken så är det starkströmsproblematiken, det krävs en utbildning för att hantera snabblandning. Det finns också en brandrisk som är annan än i konventionellt flyg. Kunskapen kring EMS saknas också .
	Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
9	Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser du med drönare/eVTOL?	Det finns en plats för evtol, kanske i Sverige är det mer begränsat pga. längre avstånd. Vi kan se möjligheter mellan Danmark och Sverige och mellan storstäder och regioner. Jag ser främst en möjlighet för elflyget i Skandinavien pga. räckvidden.
	Övrigt	
10	Vilka anpassningar ser du att Swedavia måste göra för att möta drönar/eVTOL marknaden?	Vi måste informera våra kunder om vad dessa anpassningar kostar, affärsmodellerna idag är för optimistiska och man vill sälja sin produkt men det kostar med integreringen med andra farkoster. Finansieringen behöver lösas för att göra anpassningar.
11	Vilka är de stora utmaningarna för Swedavia kopplat till denna utvecklig?	Även om man har löst finansieringen så är placeringen en utmaning så att man kan erbjuda en attraktiv produkt. Det är svårt på en stor flygplats, lättare på regionala

		flygplatser. Tyvärr kommer intresset att vara på dom stora flygplatserna.
		<p>Det är viktig för oss på Swedavia att vara objektiva och tillmötesgå framtiden så bra vi kan men vi prioriterar fossilfritt oavsett typ av flyg. Kostnaderna måste bäras på något sätt.</p> <p>Den stora utmaningen för elflyget är regelverket där vi fortfarande inte vet vart planen ska stå vid terminalen. Förutom regler är det tekniken som förändras så snabbt.</p>

	Intervju Katla Erik Wiberg	Datum: 2022-05-05
	Frågor	Svar
	Generella frågor	
1	<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönar/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	De transkriberade svaren kommer ej att publiceras på begäran av Erik Wiberg. Innehållet finns dock med i rapporten.
2	<p>Flera är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	
3	Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?	
4	Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?	
	Batteri	
5	Hur ser ni på den nuvarande batteritekniken?	
6	Är det ett hinder för er i dagsläget?	

7	Räknar ni med några större förändringar kring batteritekniken de närmsta 3 åren?	
	Buller	
8	Är buller något som påverkar era produkter och verksamhet?	
9	Designar ni med buller i åtanke?	
10	Utför ni bullermätningar på era produkter och tjänster?	
	Miljö	
11	Hur påverkar miljöaspekten utvecklingen av era produkter, tjänster och verksamhet?	

	Säkerhet	
12	Hur arbetar ni med säkerhet vid dom olika stadierna av transporten? 5. Start/landning 6. Vid marschflyg	Start/landning: Vid marschflyg:
13	Hur ser behovet ut av kontrollcenter/ledningscentral?	
14	Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare?	
	Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
15	Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser ni med era drönare/eVTOL?	
	Batteri som en del av ramen	
	8c	

	Intervju Mats Bergelind Swedavia	Datum: 2022-04-08
	Frågor	Svar
	Generella frågor	
1	<p>Det är många aktörer som är intresserade och många satsar mycket resurser för att utveckla drönare/eVTOL marknaden.</p> <p>Tycker ni att tekniken och marknaden är mogen för en bredare implementering i samhället? Vad talar för och emot?</p>	<p>Jag tror att det korta perspektivet vad det gäller flygplatsen så kan vi snabbt erbjuda plats för det men det är inte det som är utmaningen, det är att flyga nära flygplatser med stora flygplan. Det skulle kunna göras på mindre flygplatser där man stänger av luftrummet mellan annat flyg. Om några år framåt så måste vi se hur infrastrukturen ska anpassas, både infrastruktur men också dom affärsmässiga förutsättningarna. Ska vi betrakta det här som en taxi eller är det en parkeringsplats? Det är precis som annan angörande trafik men där har vi färdiga koncept för hur man hanterar olika fordonstyper som buss taxi, tåg etc. här måste vi plocka fram nytt. Något som är intressant är att det är inte bara infrastrukturen, ska dessa entreprenörerna vara på plats på flygplatserna? Vill dom ha hangarer, serviceutrymmen, personal som tar emot passagerare? Någon ansvarig som är på plats? Rent luftrumsmässig finns det plats men det finns mer förberedelser att göra.</p>
2	<p>Många är kritiska till kapaciteten och effektiviteten hos farkoster för persontransport.</p> <p>Vad tycker ni? - är drönare och eVTOL tekniken lämpad för persontransporter eller är gods- och frakttransporter den bästa användningen för denna teknik?</p>	<p>Jag tror inte att man kan göra den uppdelning mellan passagerare och gods. Man har sett transporter med drönare där priset för transporten är en liten del, detsamma gäller för persontransporter. Det svårt att sätta ett pris på det, vissa betalar gärna för att slippa sitta i köer. En av dom starkare business casen är att ta sig snabbt till flygplatsen. Det är betalningsvilja som bestämmer inte gods eller passagerare. Det är enklare att köra vissa personer som t.ex VIP eller personer med rörelsehinder.</p>
3	<p>Vilken roll tror du drönare/eVTOL kommer spela i samhället dom närmaste 5-10 åren?</p>	<p>Man har pratat om flygande bilar och jag tror på att evtol och dylikt kommer att bli vanligare pga. det inte kräver infrastruktur. T.ex. innebär det att man kan bo på annorlunda ställen, mer avlägsna platser. Min förhoppning på lång sikt att det kommer bli en del av transportsätten framöver när den första hypen sätter sig och priserna sjunker och tjänsten blir mer autonom. Jag tror det här är något som vi måste ha på plats, ha ett sätt att hantera det här på ett vettigt</p>

		sätt, inte bara med piloter utan autonomt, det kompletterar med dom andra autonoma transportererna. Det ställer en större fråga, hur hanterar vi autonomitet på flygplatsen, hur tar vi över den här farkosten. Hur styr vi autonoma farkoster på vår mark.
4	Vilken betydelse kommer flygplatserna ha för den nya flygtrafiken?	Vid en annan studie har vi studerat last mile delivery med drönare och vad vi har kommit fram till är att flygplatsen är ett centrum för flygkompetens, det finns många fördelar att vara när flygplatsen. Dessutom är det ett viktigt nav över huvud taget i många delar av Sverige, det finns plats för det. Om det inte blir ännu mera centrum för annat flyg så kommer flygplatsen att vara en kompetensresurs. Det kanske inte kommer att vara flygplatsen där dom flesta resor sker men där kan man fortfarande ha ens hangarer och serviceutrymmen.
	Batteri	
5	Hur ser du på den nuvarande batteritekniken?	El-infrastrukturen behöver förbättras, inte bara evtol / elflyg, elbilar och fordon. Det finns stora frågetecken hur det här ska balanseras. Batteritekniken utvecklas den hela tiden. Det kommer ske stora förändringar från hur det har varit. T.ex. elplan kan inte ta samma gods som vanliga plan.
6	Är det ett hinder i dagsläget?	
7	Räknar du med några större förändringar kring batteritekniken dom närmaste 3 åren?	

	Säkerhet	
13	Vad är de främsta säkerhetsriskerna med drönare/eVTOL?	Det är uppenbart att det värsta som kan hända att dom faller ner från himmelen och hamnar på någon, eller att dom hamnar i vägen för andra flygplan. Buller är också viktigt, kommuner och luftfartsverket måste bestämma vart dom ska gå någonstans, både för buller och säkerhet. Det är något som

		<p>kommunerna bör ta det upp snart, hur ska det hanteras. Kommunerna bör också gå in och bestämma. Vart ska dom ha vertiports, ska det vara på specifika ställen eller ska dom landa vart som helst. Swedavia kan rådfrågas om hur man ska tänka kring detta.</p> <p>Flygmotorvägar är den enda lösningen över tätbebyggda områden.</p>
	Affärs-/utvecklingsmöjligheter	
14	Vilka möjligheter och framtidsvisioner ser du med drönare/eVTOL?	<p>Det är viktigt att se hur affären kommer att bli, det kommer bli en viktig affär, hur blir det en bra affär för swedavia?</p>



CHALMERS