

Eldriven Flygtrafik: Påverkan på Flygrörelser och ATM

Utförd av: Balindervir Sekhon & Christoffer Karlsson

Definition av centrala begrepp:

1. **ACC** = Area Control Center, är en flygtrafikledningsenhet som ansvarar för övervakning och styrning av flygtrafiken inom ett specifikt luftrum, med fokus på att säkerställa att flygplan håller sig på säkra avstånd från varandra och navigerar enligt plan.
2. **ALRS** = The Alerting Service, är ansvarig för att snabbt informera flygplan om nödsituationer eller faror som kan påverka deras flygning, och att koordinera räddningsinsatser i händelse av olyckor eller incidenter.
3. **ASM** = Air Space Management, är en del av ATM-systemet och handlar om att effektivt hantera och fördela luftrummet för att säkerställa säkerhet och effektivitet för flygtrafiken, vilket inkluderar planering av flygrutter och resursallokering.
4. **ATC** = Air Traffic Control, är den del av Air Traffic Services (ATS) som involverar övervakning och styrning av flygtrafiken från markbaserade kontrolltorn och radartjänster. Flygledare inom ATC ger instruktioner till flygplan om flygrutter, höjd och hastighet för att undvika kollisioner och säkerställa en ordnad flygtrafikström.
5. **ATFM** = Air Traffic Flow Management, är en del av ATM-systemet och är processen för att reglera och övervaka flygtrafiken för att undvika överbelastning av luftrum och flygplatser, genom att planera och styra flygningar för att upprätthålla en jämn och säker trafikflöde.
6. **ATM** = ATM är en omfattande disciplin som täcker alla aspekter av flygtrafikens säkerhet och effektivitet. Det inkluderar olika system, procedurer och teknologier som samarbetar för att säkerställa smidig och säker flygtrafik.
7. **ATS** = Air Traffic Services, utgör en del av ATM-systemet och omfattar olika tjänster som tillhandahålls för att underlätta flygtrafiken. Det inkluderar flygledning, flyginformation och navigationshjälpmedel för att säkerställa säker och effektiv flygning genom luftrummet.
8. **ECAC** = ECAC står för European Civil Aviation Conference, eller Europeiska civila luftfartskonferensen på svenska. Det är en paneuropeisk organisation som arbetar för att främja säkerhet, effektivitet och hållbar utveckling inom civil luftfart i Europa genom samarbete mellan sina medlemsstater.
9. **FIS** = Flight Information Service, tillhandahåller flygrelaterad information till piloter, inklusive meteorologiska förhållanden, navigationsvarningar och annan relevant data för att underlätta säker navigation och flygplanering.
10. **FUA** = FUA står för Flexible Use of Airspace, det är ett koncept utvecklat av Eurocontrol som syftar till att optimera användningen av luftrummet genom att tillåta flexibel delning mellan civila och militära användare. Genom att dynamiskt anpassa

luftrummet efter behov kan kapaciteten och effektiviteten förbättras, samtidigt som säkerheten bibehålls.

11. **ICAO** = Internationella civila luftfartsorganisationen (ICAO) är en myndighet som hjälper länder att samarbeta och dela sitt luftrum till ömsesidig nytta. Organisationen etablerar internationella standarder och regler för säker och effektiv flygtrafik.
12. **IFR** = IFR står för Instrument Flight Rules, vilket är regler och procedurer som piloter använder för att navigera och flyga flygplan med hjälp av instrument när visuell navigation inte är möjlig. Dessa regler möjliggör säker flygning under förhållanden som dåligt väder eller mörker och inkluderar vägledning från flygtrafikledningen.
13. **LFV** = Luftfartsverket, är en svensk myndighet som ansvarar för flygtrafikledning, flygsäkerhet och utveckling av flyginfrastrukturen. Deras huvuduppgift är att säkerställa säker och effektiv luftfart i Sverige, både nationellt och internationellt.
14. **Peak** = Peak innebär den högsta nivån eller när något är maxat. I detta arbete refereras det till en toppnivå i statistik eller när belastning är som högst.
15. **TWR** = Tower Control Unit, är den enhet på flygplatsen som ansvarar för att styra och övervaka flygtrafiken på och runt flygplatsområdet, inklusive start- och landningsbanor, för att säkerställa en säker och effektiv flygplatsoperation.

Abstract

Air Traffic Management (ATM) faces significant challenges with the introduction of electric aviation. The heavy batteries, limited passenger capacity, and lower speeds make electric aircraft less suitable for popular and long-distance routes, while they are better suited for shorter routes with lower demand. This project focused on how electric aviation affects air traffic controllers' workload and addressed other critical factors such as capacity and infrastructure.

We conducted interviews with various stakeholders in the aviation industry, including airlines, aircraft manufacturers, and air traffic controllers, to understand the challenges they face. A scenario analysis was carried out to explore how changes in flight movements might impact the workload of air traffic controllers. We performed an in-depth study of flight movements, workload, and electric aviation.

Our findings revealed that electric aviation is still in its developmental stage and has not yet reached its full potential. The initial models of electric aircraft will have limited passenger capacity, leading to more flights and increased traffic during peak times. A primary concern for air traffic controllers is the sequencing of aircraft, as varying speeds can disrupt traffic flow. Airports must also consider efficient charging solutions to minimize turnaround time and ensure sufficient capacity for more flights.

In conclusion, while electric aviation presents challenges, it also offers a promising future for domestic public transport. Additionally, it is an environmentally friendly alternative that has the potential to change the way people travel within the country and reduce the aviation industry's carbon footprint.

Sammanfattning

Air Traffic Management (ATM) står inför betydande utmaningar med införandet av elektrisk flygning. Tunga batterier, begränsad passagerarkapacitet och lägre hastigheter gör elektriska flygplan mindre lämpliga för populära och långdistansrutter, medan de passar bättre för kortare rutter med lägre efterfrågan. Detta projekt fokuserade på hur elektrisk flygning påverkar arbetsbelastningen för flygledare och tar upp andra viktiga faktorer såsom kapacitet och infrastruktur.

Vi genomförde intervjuer med olika intressenter inom flygindustrin, inklusive flygbolag, flygplanstillverkare och flygledare, för att förstå de utmaningar de möter. En scenarioanalys gjordes för att undersöka hur förändringar i flygrörelserna kan påverka flygledarnas arbetsbelastning. Vi utförde en djupgående studie av flygrörelser, arbetsbelastning och elektrisk flygning.

Våra resultat visade att elektrisk flygning fortfarande är i utvecklingsstadiet och inte har nått sin fulla potential. De första elektriska flygplansmodellerna kommer att ha begränsad passagerarkapacitet, vilket leder till fler flygningar och högre trafik under rusningstider. Ett huvudbekymmer för flygledare är sekvensering av flygplan, då olika hastigheter kan störa trafikflödet. Flygplatser måste också överväga effektiva lösningar för laddning för att minimera turn-around-tiden och säkerställa tillräcklig kapacitet för fler flygplan.

Sammanfattningsvis innebär elektrisk flygning utmaningar men erbjuder också en lovande framtid för inrikes kollektivtrafik. Dessutom är den ett miljövänligt alternativ som potentiellt kan förändra sättet människor reser inom landet och minska flygindustrins koldioxidutsläpp.

Innehållsförteckning

Definition av centrala begrepp:	2
Abstract	4
Sammanfattning	5
Innehållsförteckning	6
1. Inledning	8
1.2 Syfte	9
1.3 Forskningsfrågor	9
1.4 Avgränsningar	10
1.5 Disposition	10
2. Tillvägagångssätt / Metod	12
2.1 Metodbeskrivning av Litteraturstudier	13
2.2 Metodbeskrivning av Intervjuer	13
2.3 Metodbeskrivning av Scenarioanalys	14
2.4 Validering & Verifiering	15
3. Teoretisk referensram	16
3.1 Air Traffic Management (ATM)	16
3.1.1 Air Traffic Service (ATS)	16
3.1.1.1 Air Traffic Control (ATC)	17
3.1.2 Air Traffic Flow Management (ATFM)	17
3.1.3 Airspace Management (ASM)	17
3.2 ATM Utmaningar	18
3.2.1 Arbetsbelastningen för Flygtrafikledare	19
3.3 Elektrisk Luftfart	19
3.3.1 Elflygplan i Utveckling	20
3.4 Tidigare Svenska Studier	21
4. Litteraturstudie	23
4.1 Arbetsbelastning	23
4.2 Flygrörelser	24
4.3 Forskning inom Elektrisk Luftfart	25
4.4 Sammanställning av Litteraturstudien	25
5. Scenarioanalys	27
5.1 Scenario 1	28
5.2 Scenario 2	31
5.3 Scenario 3	32
5.4 Scenario 4	34
5.5 Scenario 5	37
6. Dataanalys och Frågeutformning för Intervjuomgång med Flygledare	43
6.1 Dataanalys	43
6.2 Intervjuomgång med Flygledare	44
7. Resultat	46
8. Diskussion	48

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

9. Slutsats	53
10. Bilagor	54
Intervjuer med Flygtillverkare/Flygbolag	54
Intervjuomgång med Flygtillverkare/Flygbolag	54
Sammanställning av intervjuomgången	55
Intervju 1	55
Intervju 2	55
Intervju 3	56
Referenser	58

1. Inledning

Elflygplan utgör ett betydande framsteg inom luftfartstekniken och har potentialen att omforma luftfartsindustrin avsevärt. Det kan också öppna upp nya möjligheter för flygningar och förbättra tillgängligheten till avlägsna områden. Införandet av en sådan ny teknologi kräver dock anpassningar av den befintliga flyginfrastrukturen. Den införda teknologin kräver inte bara anpassningar av den nuvarande flyginfrastrukturen utan också en omdefiniering av flygplanets roll inom transportsektorn (Nordic Innovation, 2022). Dessa anpassningar kommer att påverka allt från flygplatsinfrastruktur till flygtrafikledningssystem, och därigenom påverka hela flygupplevelsen för resenärer och flygbolag.

Elflygplanstekniken befinner sig för närvarande i ett tidigt utvecklingsskede med flera prototyper och koncept under utforskning och testning av olika tillverkare. Trots framstegen kvarstår betydande utmaningar innan elflygplan kan bli vanliga på marknaden. Heart Aerospace är ett svenskt bolag som tillverkar elflygplan och de jobbar just nu på en modell som heter ES-30, den modellen förväntas vara i drift 2028. ES-30 är ett 30-sitsigt flygplan med fyr-motorisk drift (Heart Aerospace, 2024). Andra modeller som behandlas är bland annat (Independent Business Group, 2022), Eviation Alice - ett 9-sitsigt passagerarflygplan med en räckvidd på 1000 km, ZeroAvia - en modifiering av ett konventionellt flygplan som initialt rymmer 19 passagerare och förväntas utvecklas till ett plan för 200 passagerare fram till 2040 (Eviation, 2024) (ZeroAvia, 2024).

De positiva aspekterna med elflygplan är dess miljövänlighet och potential för långsiktig kostnadseffektivitet. Å andra sidan medför införandet av elflygplan vissa utmaningar, såsom att justera den nuvarande flyginfrastrukturen, inklusive luftrummet och flygtrafikledningssystemen (Nordic Innovation, 2022). Dessutom finns det utmaningar med att förutse och hantera andra nödvändiga förändringar, särskilt med tanke på att elflygplan för närvarande inte är i kommersiell drift. Flygtrafikledning och hantering av luftrummet är centrala komponenter som måste integreras för att elflyg ska kunna fungera smidigt. För att förstå hur dessa komponenter kan anpassas och optimeras för elflyg är det nödvändigt att fördjupa sig i hur Air Traffic Management (ATM) fungerar för närvarande.

ATM är en omfattande disciplin som täcker alla aspekter av flygtrafikens säkerhet och effektivitet (ICAO, 2020). Det inkluderar olika system, procedurer och teknologier som samarbetar för att säkerställa smidig och säker flygtrafik. Det är även viktigt för att hantera flygrörelser och för att möjliggöra för flygtrafiken att fortsätta växa på ett hållbart sätt. Teknologiska innovationer och effektivare procedurer är nödvändiga för att möta framtidens behov inom luftfartshandling. ICAOs rapport betonar också vikten av att utveckla och implementera ATM-system och strategier som kan hantera den ökande volymen av flygtrafik, samtidigt som man bibehåller höga standarder för säkerhet och effektivitet. Enligt Luftfartsverket (LFV u.d.) finns det en betydande risk för att arbetsbelastningen för flygledare blir övermäktig när antalet flygrörelser ökar. Det är viktigt att ha denna aspekt i åtanke när nya teknologier introduceras för att granska och anpassa arbetsuppgifterna.

Enligt ICAO krävs även en samverkan av flera komponenter utöver flygledare för att kunna driva flygplatser effektivt (ICAO, 2020). Flygtrafikledningen innefattar en rad uppgifter såsom planering av flygningar, övervakning av lufttrafik och hantering för att undvika kollisioner och

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

upprätthålla en ordnad flygtrafikström. Flygtrafikledningens effektivitet är också avgörande för att hantera den växande flygtrafikbelastningen. Även integrering av avancerade system och strategier är nödvändiga för att möta framtidens behov inom flygtrafikhantering och bibehålla höga nivåer av säkerhet och effektivitet. Flygplanen övervakas även kontinuerligt av luftfartsmyndigheter och flygbolag för att säkerställa efterlevnad av säkerhetsstandarder. Luftfartsverket (LFV) är en svensk myndighet som ansvarar för flygtrafikledning, flygsäkerhet och utveckling av flyginfrastrukturen. Idag medverkar LFV på 16 flygplatser från olika flygledningstorn samt kontrollcentraler. LFV utvecklar nya operativa koncept för att möta ökad kapacitet, tillgänglighet och hållbarhet. De samarbetar med andra organisationer i det europeiska luftrummet (LFV, 2023).

Införandet av elflygplan i den kommersiella flygtrafiken ställer flygledare inför utmaningar för att möta de krav och förväntningar som denna nya teknologi medför. En avgörande aspekt som behöver undersökas är hur antalet flygrörelser förväntas påverkas av elflygplanens integrering i det dagliga flygtrafikschemat. För att bättre förstå denna dynamik är det viktigt att definiera begreppet 'flygrörelser', vilket refererar till varje enskild start eller landning av ett flygplan på en flygplats. Exempel på utmaningar med elflyg kan vara den korta räckvidden, laddningsbehovet och kapaciteten. Denna förståelse är central för att kunna bedöma elflygplanens påverkan på den totala flygtrafiken och därigenom identifiera eventuella behov av förändringar i flygtrafikledning och andra delar av ATM (Eurocontrol, 2018). Därmed strävar detta arbete efter att klargöra de potentiella konsekvenserna av elflygplansinförandet på den befintliga flyginfrastrukturen och flygtrafiken, med särskilt fokus på antalet flygrörelser och den möjliga påverkan på flygledare.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka hur kommersiell drift av elflyg förväntas påverka antal flygrörelser på en flygplats, samt hur det kommer att påverka flygledarnas arbete. Dessutom syftar arbetet till att utforska eventuella krav på förändringar i ATM-systemet för att hantera införandet av elflygplan.

1.3 Forskningsfrågor

För att uppnå detta syfte har det genomförts en djupgående analys i samarbete med LFV för att undersöka konsekvenserna av att byta ut konventionella flygplan mot elflygplan, med fokus på ökningen av antalet flygrörelser. Det har genomförts intervjuer för att dra nytta av LFV:s insikter och erfarenheter samt för att utforska de specifika utmaningar som flygtrafikledare möter. Genom denna analys har det identifierats och analyserats varför dessa utmaningar uppstår. Huvudmålet är att noggrant utforska och förstå hur införandet av elflyg påverkar Air Traffic Management (ATM).

Nedan följer forskningsfrågor som har studerats och besvaras i examensarbetet:

1. Hur påverkas antalet flygrörelser av införandet av elflygplan som alternativ och komplement till konventionella flygplan?

Det visade att införandet av elflygplan inte förväntas påverka flygledarnas arbete. (Se kapitel 7)

2. Hur förväntas den potentiella förändringen av flygrörelser påverka ATM, vid implementering av elflyg?

Den potentiella förändringen av flygrörelser förväntas påverka ATM ifall rörelser är maximala hela tiden över dagen. Utöver detta uppstår problemet med en mångfald av flygplanstyper. (Se kapitel 7)

3. Behövs det nya anpassningar i ATM-systemet för att integrera elflygplan?

Vissa delar av ATM kan påverkas och behöver anpassas vid integrering elflygplan, då expanderings och utveckling av infrastrukturen på flygplatsen kan krävas, vilket exempelvis kan vara nya laddningsstationer för elflygplanen. (Se kapitel 7)

1.4 Avgränsningar

I detta arbete har flera avgränsningar gjorts för att säkerställa en fokuserad och genomförbar studie. Först och främst är det värt att notera att detta arbete utgör endast en del av ett mycket större projekt tillsammans med LFV, som syftar till att utforska olika aspekter av elektrisk flygning och dess inverkan på luftfartsindustrin som helhet.

Vidare har en geografisk avgränsning tillämpats, där studien har begränsats till Bromma flygplats och enbart avgångar och landningar, vilket annars skulle innebära för många inblandade aktörer. Dessutom har studien endast genomförts inom Sveriges gränser, och inga studier eller tester har utförts i andra länder.

En ytterligare avgränsning som gjorts gällande elektriska flygplanstyper för att få en inblick i hur det skulle kunna se ut i vår scenarioanalys. Studien har fokuserat på mellan 1-2 flygplansmodeller då inga elflygplan är i drift vid denna tidpunkt. Detta är avgörande för att kunna skilja mellan olika typer och sedan implementera dem i olika rutter, där både efterfrågan och flygsträckans längd kan variera.

En sista avgränsning är antagandet att flygplanen som används i detta arbete alltid är fullsatta, det vill säga att varje passagerarsäte är upptaget. Detta gäller både för de ursprungliga flygplanen och för de flygplan som eventuellt ska ersätta dem.

1.5 Disposition

Kapitel 1 fungerar som inledning till arbetet och syftar till att ge läsaren en övergripande förståelse för vad som kommer att behandlas längre fram. Det presenterar flera nyckelkoncept och relevanta delar som ger en grundläggande inblick i rapportens ämne och syfte.

Kapitel 2 innehåller tillvägagångssätt/metod, här beskrivs den metodologiska strategin för att genomföra studien. Det inkluderar val av datainsamlingsmetoder, analysmetoder och olika typer av intervjuer för att ge läsaren en förståelse för hur forskningen genomförs och vilka tekniker som används för att samla in och analysera data.

Kapitel 3 beskriver den teoretiska referensram som utgör grundvalen för studien. Det presenterar relevanta teorier, begrepp och tidigare forskning som används för att analysera och tolka data.

Kapitel 4 består av litteraturstudier som visar hur källor i form av artiklar och böcker tagits fram och använts. Sökmotorn för denna litteratur är Unisearch och flera källor har tagits från den sidan. Delkapitel under beskriver också vissa större områden där fokuset ligger.

Kapitel 5 innehåller scenarioanalyser som beskriver bearbetningen av data, uppbyggnaden av varje scenario, beräkningarna samt resultaten.

Kapitel 6 innehåller intervjufrågorna som användes under intervjuerna med flygledare, samt sammanställningar av intervjuerna. Kapitlet förklarar också tanken bakom intervjuerna och hur upplägget kommer att se ut.

Kapitel 7 presenterar resultaten av studien, vilket inkluderar svaren på de ställda frågorna samt de slutsatser vi har dragit efter att ha genomfört vår undersökning.

Kapitel 8 presenteras en omfattande diskussion som utforskar resultaten och andra aspekter kring arbetet.

Kapitel 9 summerar slutsatserna från arbetet med hjälp av en kort sammanfattning, samt föreslår potentiella områden för vidare forskning och undersökning inom sammanhanget av det aktuella arbetet.

Kapitel 10 innehåller bilagor där intervjuerna med flygbolag och flygtillverkare lades in då de var mindre relevanta.

2. Tillvägagångssätt / Metod

I detta kapitel presenteras arbetets tillvägagångssätt och vilka metoder som använts.

För att undersöka hur elektrisk luftfart kommer att påverka flygtrafikledningen (ATM) samt den möjliga ökningen av flygrörelser, har följande tillvägagångssätt och metoder använts.

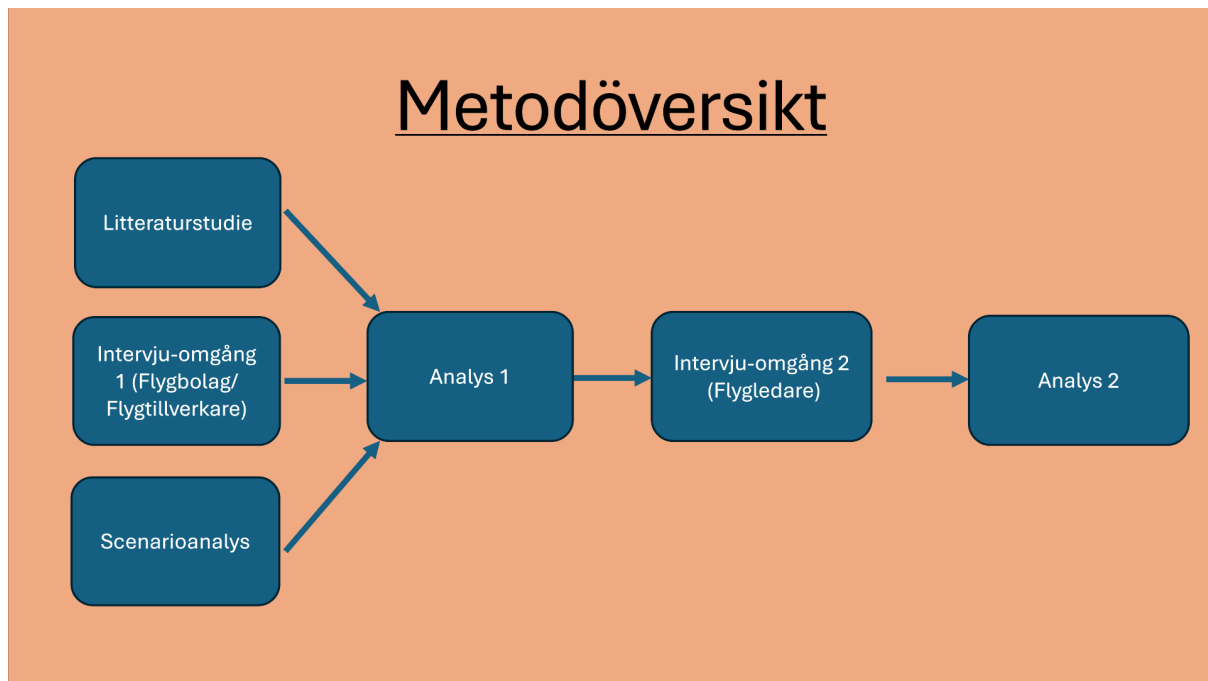
Figur 1 visar hur alla dessa metoder är sammanlänkade och i vilken ordning de utförts. Första steget fokuserar på att genomföra litteraturstudier inom områdena ATM och elflygplan. Detta syftar till att öka förståelsen för elektrisk luftfart och stödja det arbete som utförs. Genom att granska tidigare forskning kan vi identifiera utmaningar och framsteg inom dessa områden för att vägleda vårt eget arbete. Denna studie har sedan lagt grund för utformningen av frågorna inför vår första intervjuomgång med flygbolag/flygplanstillverkare. Genom att basera våra frågor på en solid forskningsbas kan vi säkerställa att de är relevanta och engagerande för deltagarna och ger oss djupgående insikter.

Andra steget innebär att genomföra den första omgången av intervjuerna. Dessa intervjuer har fokuserat på att utforska framtida planer för implementering av elflygplan, valet av flygplansmodeller och fastställande av flygrutter. Målet med intervjuerna är att samla in information för att sedan använda deras idéer som grund för olika scenarioanalyser i det tredje steget.

I det tredje steget genomförs scenarioanalyser med utgångspunkt från Bromma flygplats. Målet är att utforska olika situationer och deras potentiella konsekvenser. De olika scenarierna inkluderade bland annat att undersöka hanteringen under peak genom att ersätta alla befintliga konventionella flygplan med elflygplan. Ett annat alternativ var att ersätta vissa kortare rutter som elflygplan kan hantera. Dessa scenarier beskrivs mer utförligt i kapitel 2.3. Efter att alla dessa steg utförts, vilket inkluderar litteraturstudien, intervjuomgång 1 och scenarioanalysen, analyserades resultaten för att skapa relevanta frågor till flygledarna. Detta säkerställde att de frågor vi ställde var välgrundade och direkt kopplade till deras arbete.

I näst sista steget har den andra intervjuomgången genomförts tillsammans med flera flygledare. Denna intervjuomgång bygger på resultaten från vår scenarioanalys. Huvudmålet har fokus på flygledarnas synpunkter på flygrörelser och hur deras arbete kan förväntas påverkas av införandet av elflygplan.

I det sista steget analyserades alla intervjuer och en sammanställning av samtliga svar gjordes.



Figur 1: Metodöversikt på hur metoderna hänger ihop.

2.1 Metodbeskrivning av Litteraturstudier

En viktig del av metodiken innebär att göra litteraturstudier för att samla så mycket information som möjligt och dra nytta av tidigare forskning och arbeten (Nyman & Claesson, 2022). Genom detta har ett stort fokus lagts på elflyg inom ATM och deras potentiella påverkan på flygtrafikledning och flygplatsoperationer. Detta inkluderar bedömning av elflygs prestanda, säkerhetsåtgärder och potentiella operativa begränsningar.

Litteraturstudien inleddes med att använda sökmotorn Unisearch för att identifiera relevanta källor genom att söka efter nyckelord såsom elflyg, electrical aviation och ATM. Syftet var att bredda förståelsen för elektrisk luftfart och hitta litteratur som stödjer vårt arbete. Dessa källor analyseras sedan för att fördjupa förståelsen av elflygplan och luftfartstrafikledningssystem (ATM). Den inhämtade kunskapen tillämpades sedan i intervjuer för att underbygga diskussionerna, där vi är väl förberedda med fakta och kan förstå de svar vi får från respondenterna.

2.2 Metodbeskrivning av Intervjuer

Det finns olika strategier och tekniker för att samla in kvalitativ data genom olika forskningsmetoder. Utöver intervjuer finns det även andra metoder och sätt att arbeta på som exempelvis datainsamling, observationer och enkäter (Bryman, 2002). Dock har huvudfokus legat på intervjuer för detta arbete, på grund av att det är en kraftfull metod för att samla in kvalitativ data och få djupare insikt i ämnet.

Intervjuer är en fundamental metod för att samla in värdefull information och djupdyka i olika ämnen (Bryman, 2002). Det finns olika sätt att genomföra och strukturera intervjuer på, samt olika aspekter av intervjuer, inklusive planering och genomförande av både

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

semistrukturerade och ostrukturerade intervjuer. Det är viktigt att planera och formulera relevanta frågor för att få fram önskad information och undvika eventuell bias i både frågor och svar. Man skapar en strukturerad ram för intervjuerna samtidigt som man behåller flexibiliteten för att kunna anpassa sig till de intervjuades svar.

Intervjuer utgör en oersättlig komponent inom forskningen. Kvale och Brinkmann beskriver den teoretiska bakgrunden till forskningsintervjuer som deras praktiska tillämpningar (Kvale & Brinkmann, 2014). Vid utförandet av intervjuer, finns olika typer av intervjuer, varav semistrukturerade och ostrukturerade intervjuer är två vanliga former. Semistrukturerade intervjuer kännetecknas av att den som intervjuar har en förberedd uppsättning frågor som fungerar som riktlinjer för samtalet. Trots den förbestämda listan med frågor finns det även utrymme för att ställa följdfrågor och utforska ämnet djupare baserat på intervjuarens svar. Å andra sidan är ostrukturerade intervjuer mer flexibla och öppna. I dessa intervjuer drivs samtalet av den intervjuades svar och erfarenheter, och intervjuaren följer deras ledning.

I detta exjobb har det använts semistrukturerade intervjuer, detta då det är en effektiv metod som kombinerar flexibilitet med en viss grad av struktur. Denna metod möjliggör en djupare förståelse av ämnet genom användning av öppna frågor, samtidigt som viktiga ämnen kan täckas genom förutbestämda frågor. Genom att använda denna metod kan man skapa en dynamisk interaktion som ger rika och varierade insikter från deltagarna. Deltagarna i detta fall har varit flygledare och flygbolag/flygplanstillverkare.

Vi genomförde 3 intervjuer med flygbolag/flygplanstillverkare och 4 intervjuer med flygledare. Syftet med att intervjua flygbolag/flygplanstillverkare är att få en förståelse för deras planer angående implementeringen av elflygplan på deras rutter vid Bromma flygplats. Frågorna har fokuserat på olika elflygplansmodeller de planerar att använda och om de tror att elflygplanen kommer att möta efterfrågan lika väl som konventionella flygplan. Informationen från denna intervju har bearbetats för att förbereda den följande intervjuomgången. Informationen som erhålls från flygbolag/flygplanstillverkare har hjälpt oss att skapa frågor för flygledarna. Denna intervju bygger på resultaten från scenarioanalysen (förklaras i kap 2.3). Frågorna har utformats för att få flygledarnas åsikter om flygrörelserna och hur deras arbete kan komma att påverkas av övergången till elflygplan.

2.3 Metodbeskrivning av Scenarioanalys

Olika scenarioanalyser genomfördes för att undersöka hur kommersiell drift av elflyg förväntas påverka antalet flygrörelser. Valet av undersökningsplats är Bromma flygplats på grund av den höga trafikvolymen för inrikesflygningar, vilket förväntas vara en initial marknad för elflyg.

Skapandet av en jämförelse mellan konventionell flygtrafik och elflygplanstrafik inleds med insamling av historisk flygtrafikdata från Bromma flygplats. Denna data används för att modellera det nuvarande flygtrafikscenariot vid Bromma flygplats och ge insikt i antalet flygningar och flygrutter för konventionella flygplan. Fem olika scenarier genomfördes. Det första scenariot visar det nuvarande läget i en två timmars period. I det andra scenariot kommer alla konventionella flygplan ersättas av elflygplan under samma två timmars period. I det tredje scenariot väljs specifika rutter för övergång till elflygplan. Det fjärde scenariot

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

visar det nuvarande läget över en hel dag, medan det femte scenariot fokuserar på specifika rutter för övergång till elflygplan men sträcker sig över en hel dag.

Med den insamlade historiska datan och de hypotetiska antagandet konstruerades scenarier inom elflygplanstrafik vid Bromma flygplats. Scenarier inkluderar beräkningar av antal flygningar och flygrutter. Slutligen utförs en jämförelse mellan resultaten från konventionell och elflygplanstrafik för att identifiera skillnader och utmaningar. Dessa resultat har sedan använts som grund vid intervjuer med flygledare.

2.4 Validering & Verifiering

Validering och verifiering är kritiska steg för att säkerställa att påståenden håller måttet. Detta är avgörande för att genomföra en enhetlig och högkvalitativ bedömning genom en standardiserad process. Svenska Institutionen för Standarder diskuterar också skillnaden mellan validering och verifiering (SIS, u.d). Skillnaden ligger i tidslinjen för bedömningen, där validering fokuserar på framtida påståenden eller förväntade utfall, medan verifiering verifierar påståenden om redan inträffade händelser eller resultat. SIS betonar även att flera faktorer påverkar vem som tar ansvar för validering och verifiering, vilket kan bero på krav eller önskad tillförlitlighet.

Validering och verifiering i detta arbete har inkluderat både intervjuer och scenarioanalyser. Första stycket nedan presenterar intervjuer och det andra stycket presenterar scenarioanalyser.

Intervjuerna har analyserats baserat på de samlade svaren från alla deltagare. Vi har sökt efter gemensamma mönster och identifierat skillnader. När det gäller bedömningen av kandidaternas erfarenhet och kompetens, har vi genomfört semistrukturerade intervjuer där vi fokuserar på att ställa följdfrågor och be om konkreta exempel för att bedöma deras svar. Valideringen under intervjuerna har fokuserat på att bedöma om deltagarnas framtida planer för implementering av elflygplan är realistiska och genomförbara. Detta har gjorts genom att diskutera deras tankar och planer samt genom att kontrollera om deltagarna har samma mål och strategier för implementering.

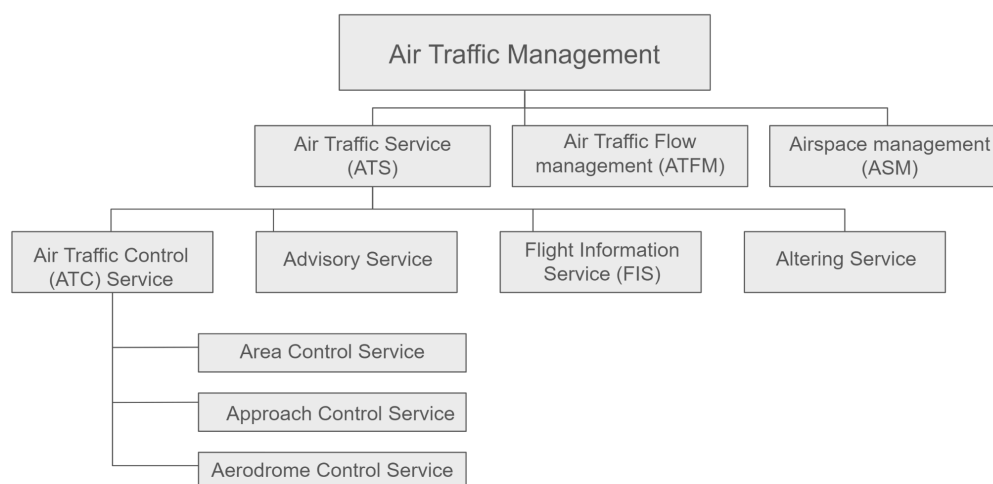
Som tidigare nämnt har scenarioanalyser också genomgått både validering och verifiering. Det är av yttersta vikt att verifiera att den data som används för att skapa scenarier är korrekt för att garantera resultatens trovärdighet. Efter att resultaten har genererats, valideras de för att identifiera de scenarier som är mest relevanta och användbara för att besvara forskningsfrågorna. Valideringen genomfördes med hjälp av den första intervjun med flygledare. Syftet med intervjun var att testa frågorna och kontrollera om scenarierna var rimliga.

3. Teoretisk referensram

Detta kapitel är ett ramverk av teorier, begrepp och modeller som används för att analysera och förstå det studerade ämnet.

3.1 Air Traffic Management (ATM)

Air Traffic Management (ATM) definieras som en sammanställning av luftburna funktioner och markbaserade funktioner, vilket inkluderar luftfartstjänster, luftrumshantering och luftfartens flödeshantering (ICAO, 2007). Dessa krävs för att säkerställa den säkra och effektiva rörelsen av flygplan under alla driftsfaser. Inom ATM finns det andra tjänster som är relaterade till luftnavigation. Dessa är Air Traffic Services (ATS), Airspace Management (ASM) och Air Traffic Flow Management (ATFM). Nedan visar figur 3 hur strukturen ser ut över hela ATM-systemet samt andra underkategorier för vissa tjänster.



Figur 3: Strukturen över hela Air traffic management.

3.1.1 Air Traffic Service (ATS)

Luffartstjänster hanterar trafikrörelser i luftrummet. Målet är att förhindra kollisioner mellan flygplan både i luften och på marken, samt att undvika kollisioner med hinder. De strävar också efter att hålla flygtrafiken ordnad, ge användbar rådgivning och information för säkra flygningar. De informerar även relevanta organisationer vid behov om flygplan som behöver sök- och räddningshjälp (Åkerlind & Örtlund, 2011, s.123). Dessa behov delas in i flera underkategorier som Air Traffic Control Service (ATC), Flight Information Service (FIS), The Alerting Service (ALRS) och Advisory Service. FIS handlar om att ge information såsom väder, vulkanisk aktivitet, radioaktiva ämnen samt förändringar på flygplatser beroende på deras skikt gällande snö, is och andra oväder som kan stoppa flygplanets ankomst och avgång eller färd. Vidare används ALRS för att meddela lämpliga organisationer om flygplan i behov av sök- och räddningshjälp och för att bistå sådana organisationer vid behov. Slutligen, Advisory Service är en tjänst som tillhandahålls inom rådgivande luftrum för att säkerställa separation mellan flygplan, den används speciellt inom områden där ATS är otillräckliga (Arblaster, 2018).

3.1.1.1 Air Traffic Control (ATC)

Målet med Air Traffic Control (ATC) inkluderar att aktivt förhindra kollisioner både i luften och på marken, samt att säkerställa en smidig och effektiv flygtrafik (Belobaba et al., 2016, s.395). Flygledare arbetar i flygtornen och övervakar flygplanens rörelser på radarskärmar, ger instruktioner till piloter för start, landning och flygrutter, samt samordnar trafiken för att undvika kollisioner och minimera förseningar. De kommunicerar också med piloter och andra flygledare för att bland annat ge väderinformation och annan relevant data för säker flygning (Åkerlind & Örtlund, 2011, s.269). ATC är organiserat i tre huvudsakliga tjänster. Första tjänsten är Area control service, som tillhandahåller lufttrafikledning för kontrollerade flygningar, med undantag för vissa delar som hanteras av de andra två tjänsterna nedan. Denna tjänst tillhandahålls av Area Control Center (ACC). Den andra tjänsten är Approach control service, som ansvarar för lufttrafikledning vid ankomst och avgång för kontrollerade flygningar. Denna tjänst utförs antingen av Tower Control Unit (TWR) eller Area Control Center (ACC). Den tredje och sista tjänsten är Aerodrome control service, som fokuserar på att hantera flygplatsens trafik, med undantag för vissa delar som hanteras av Approach control service. Denna tjänst tillhandahålls av Tower Control Unit (TWR) (Åkerlind & Örtlund, 2011, s.128). Under flygningen tillhandahålls luftfartyget en av tre olika tjänster inom ATC, beroende på vilken fas flygningen befinner sig i.

3.1.2 Air Traffic Flow Management (ATFM)

Air Traffic Flow Management (ATFM) syftar till att främja en säker, ordnad och effektiv rörelse av lufttrafiken genom att optimera kapacitetsutnyttjandet (Belobaba et al., 2016, s.381). Kapaciteten fastställs av myndigheter, såsom Transportstyrelsen i Sverige. ATFM etableras för att stödja flygtrafikledningen (ATC) och säkerställa ett smidigt trafikflöde under perioder när efterfrågan förväntas överstiga tillgänglig kapacitet. Det innebär att tidsluckor tilldelas för att undvika överbelastning. Dessa tidsluckor är viktiga för att samordna avgångstid, flygtid och ankomsttid så att flygplan inte behöver cirkulera i väntan på landningstillstånd vid sin destination. Sådana vänteprocedurer är ineffektiva, kostsamma och leder till onödiga utsläpp (Åkerlind & Örtlund, 2011, s.130-131).

3.1.3 Airspace Management (ASM)

Airspace management (ASM) mål är att optimera kapaciteten och prestandan för luftrummet där tjänsten ska grunda sig i en samarbetsbaserad konfiguration. Det ska alltså vara kontinuerlig delning av information mellan alla operativa tjänster vilket skapar det enhetliga luftrummet (Belobaba et al., 2016, s.377). Genom att tillämpa detta mål används ett koncept som kallas för Flexible Use of Airspace (FUA). Konceptet handlar om att luftrummet inte längre bör klassificeras som antingen militärt eller civilt luftrum, utan bör betraktas som en kontinuerlig enhet och användas på daglig basis. Ett av de främsta målen är en mer effektiv användning av luftrummet av militära och civila användare genom genomförandet av FUA-konceptet. Detta kan uppnås genom att säkerställa att det sker en mer effektiv delning av luftrummet genom att strategiskt planera inom luftrummet. Konceptet har ökat flexibiliteten i luftrumsanvändningen där man kan öka prestandan för lufttrafiksystemet. Det

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

tillåter maximal gemensam användning av luftrummet genom lämplig samordning mellan civila och militära. FUA-konceptet säkerställer att den dagliga tilldelningen av luftrumstrukturen baseras på verklig användning inom en specifik tidsperiod och luftrumsvolym. Konceptet baseras på tre steg av ASM, dessa kallas för Strategic ASM, Pre-Tactical ASM och Tactical ASM. Strategic ASM (som även kallas nivå 1) handlar om att utföra strategisk planeringsarbete utifrån vissa krav för både nationella och internationella luftrumsanvändare. Pre-Tactical (som även kallas nivå 2) består av den dagliga hanteringen och tillfällig tilldelning av luftrummet, där man fokuserar på att ständigt uppdatera luftrumplanerna. Tactical ASM (som även kallas nivå 3) utförs av att övervaka och hitta lösningsförslag för omallokering i luftrum under specifika problem eller situationer mellan civila och militära (Eurocontrol, 2021).

3.2 ATM Utmaningar

Lufftartsbranschen står inför en rad utmaningar, där kraven på att hantera den ständigt ökande trafik efterfrågan samtidigt som man möjliggör framväxten av nya affärsmodeller och stöder flygets hållbarhet. Lufttrafikledningssystemet (ATM) står inför en betydande utmaning på grund av den ökande mångfalden och komplexiteten i form av exempelvis nya elflygplanstyper där förhållningsreglerna kan se lite annorlunda ut, i jämförelse med fossildrivna flygplan (Eurocontrol, 2018). Det är klart att den snabbt växande variationen av flygaktiviteter kräver anpassningar inom ATM för att hantera belastningen. De största utmaningarna för ATM är att säkerställa hållbarheten i takt med utvecklingen av elflygplan och dess nya förhållningsregler. Det är viktigt att ATM kan möta den ökande efterfrågan på flygtrafiktjänster utan att kompromissa med säkerheten eller effektiviteten, samt att kontinuerligt utvecklas och moderniseras för att kunna hantera den ökande komplexiteten i flygtrafiken.

Tillväxten inom luftfartsefterfrågan har varit betydande under de senaste åren och förväntas fortsätta i samma tempo framöver. År 2018 registrerades över 11 miljoner IFR-flygningar inom ECAC (Europeiska konferensen för luftfartsnavigationsorganisationer), vilket innebar en ökning med 13,4 % jämfört med 2012. Internationella resor avstannade abruptt år 2020 till följd av Covid-19-pandemin, vilket resulterade i ett sämre år för flygindustrin. Även om år 2021 fortfarande präglades av resebegränsningar, började allt fler passagerare återvända till flygresor under 2022. (AOG, 2023). Denna tillväxt drivs av flera nya trender, inklusive expansion eller byggande av flygplatser, en ökning av lågpris långdistansflygningar samt framväxten av den asiatiska medelklassen.

Luftfarten står även inför betydande miljömässiga utmaningar i takt med dess tillväxt (Eurocontrol, 2018). Den ökande flygtrafiken leder till ökade koldioxidutsläpp, bullerstörning, andra negativa miljökonsekvenser och påverkar därmed människors livskvalitet i närliggande samhällen. För att adressera dessa utmaningar krävs det att luftfartssektorn genomför effektiva åtgärder för att minska sina miljöpåverkaner och att det sker en övergång till mer miljövänliga teknologier och bränslen.

3.2.1 Arbetsbelastningen för Flygtrafikledare

Arbetsbelastningen för flygtrafikledare förväntas öka med de utmaningar som ATM står inför. Ett ökat intresse av luftfartstjänster uppstår på grund av nya flygaktiviteter och teknologiska framsteg såsom elektriska flygplan och drönare. Detta innebär att man måste undersöka hur flygledarnas prestation och uppmärksamhet påverkas av olika faktorer, såsom antalet flygrörelser, komplexiteten i lufrummet och användningen av avancerad teknik. Teorier om uppmärksamhet, stress och beslutsfattande utgör värdefulla verktyg för att förstå hur flygtrafikledare hanterar den ökade arbetsbelastningen och förmågan att fatta beslut under tidspressade situationer (Arbetsmiljöverket, 2021). Arbetsmiljöverket nämner även vikten av att delta i utbildningar regelbundet för att kunna upprätthålla rätt kunskap och alltid vara uppdaterad om nya arbetssätt och metoder.

Arbetsförhållandena i flygledartornet skiljer sig en hel del mellan mindre och större flygplatser, framförallt när det gäller tillgängliga resurser och arbetsbelastning (Kylmä & Nagmér, 2007). På stora flygplatser är flera flygledare vanligtvis i tjänst, vilket möjliggör en jämnare fördelning av arbetsuppgifter under dygnets olika timmar. Det finns också möjlighet till avlösning och återhämtning efter intensiva arbetspass. På mindre flygplatser är arbetet för en eller två flygledare koncentrerat kring perioder med hög trafik, med lågintensiva perioder däremellan. Detta kan skapa utmaningar med att ha tillräckligt med personal tillgängligt utan att öka kostnaderna.

3.3 Elektrisk Luftfart

Det är viktigt att skapa en grundläggande förståelse för elektriska flygplan och dess relevans inom flygindustrin. Elektriska flygplan skiljer sig från konventionella flygplan genom att de använder elektricitet istället för fossila bränslen för att generera kraft och flyga (Nordic Innovation, 2022). Elflygets främsta fördel är minskade koldioxidutsläpp, vilket sker genom att använda eldrivna motorer som eliminerar behovet av fossila bränslen. Dessa motorer kan drivas av batterier, bränsleceller eller andra former av elektrisk energilagring. Elförsörjningssystem har även färre rörliga delar jämfört med traditionella motorer, vilket leder till minskade underhållskrav och potentiellt ökad tillförlitlighet. En ytterligare fördel med dessa motorer är bullernivåerna, då de inte låter lika mycket som motorerna på konventionella flygplan.

Elflyg förlitar sig också på framsteg inom batteriteknik. Hög energitäthet, lättare vikt och snabbare laddningskapacitet är avgörande för att förlänga flygsträckor och förbättra prestanda. Elflygplan kräver laddningsinfrastruktur för sina batterier. Denna infrastruktur kommer behöva utvecklas på flygplatser och andra flygoperativa platser i samband med utvecklingen av elflygplan. Elflyg kan dra nytta av kinetisk energi vid inbromsning under nedstigning för att ladda batterierna (Nordic Innovation, 2021).

De första elflygplanen i kommersiellt bruk kommer att kunna transportera betydligt färre passagerare än dagens flygplan som används i Norden. Detta kommer sannolikt leda till en ökning av flygplansrörelser för att kompensera för den begränsade storleken genom fler frekventa avgångar (Nordic Innovation, 2021). Till en början kan det finnas en viss tveksamhet bland allmänheten när det gäller att använda elflygplan, då det representerar en

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

ny era inom flygresor och transportalternativ. Trots detta kan ökande intressen från olika investerare och intressenter bidra till att främja elflygplanens acceptans och spridning. Detta ökade intresse och investeringar skulle sannolikt resultera i en ökad efterfrågan på elflygplan, vilket i sin tur skulle ge flygplansproducenterna möjlighet att öka sin produktionstakt för att möta den växande marknaden. På lång sikt skulle detta kunna leda till att elflygplan blir den nya standarden och ersätter de konventionella alternativen. Andra tjänster inom flygplatsen kan också påverkas, detta inkluderar markhantering, kiosker, restauranger och butiker. Trafikflödet fördelas jämnt över dagen, vilket kräver att arbetet behöver spridas ut över hela dagen istället för att koncentreras till vissa toppperioder. Detta innebär att det behövs ändringar i personalens skiftschema, liksom i andra scheman för transporttjänster såsom kollektivtrafik för passagerare, till exempel från flygplatsen till bostadsområden.

3.3.1 Elflygplan i Utveckling

Det diskuteras mycket om hur elflygplansmarknaden ser ut just nu och vilka utmaningar som måste övervinnas innan elflygplan kan bli vanliga på marknaden (Cromnier & Södergren, 2023). Heart Aerospace är för närvarande engagerat i utvecklingen av sin senaste modell, ES-30. ES-30 är ett flygplan som utvecklas för att möta framtidens behov av hållbart flygresande genom att minska koldioxidutsläppen och erbjuda en miljövänligare flygupplevelse.

Flygplanet är utformat för korta till medellånga sträckor med en kapacitet på 30 passagerare och är optimerat för att använda batterikraft för att driva sina elektriska motorer. Detta gör att ES-30 kan minska sina utsläpp av koldioxid markant jämfört med traditionella flygplan med förbränningsmotorer. Den elektriska drivlinan minskar driftkostnaderna och gör flygningen mer hållbar på lång sikt. Dessutom är flygplanet utformat för att vara tystare än konventionella flygplan, vilket minskar bullerstörningar och ökar bekvämligheten för passagerarna och de som bor nära flygplatser (Heart Aerospace, 2024).

Andra flygplansmodeller som förväntas forma framtidens flygindustri är Eviation Alice, ett passagerarflygplan med nio säten och med en räckvidd på 1000 km. En annan flygplansmodell är ZeroAvia, en modifiering av ett befintligt flygplan som förväntas utvecklas till att kunna rymma upp till 200 passagerare innan 2040 (Independent Business Group, 2022).

Även om helt elektriska flygplan minskar på utsläppen, har de svårt att flyga långa sträckor. Batterier misslyckas med att uppnå den betydande mängd kraft som krävs för långdistansflygning, eftersom energitätheten hos batterier är för låg (Independent Business Group, 2022). Förbättringen av batteriteknologi och deras energitäthet kan vara den viktigaste faktorn för att öka flygsträckan för helt elektriska flygplan. Den hypotetiska framtida räckvidden för helt elektriska plan förväntas öka till längder mellan 800-1200 km i slutet av 2030.

Helt elektriska flygplan visar en markant variation i sin flygsträcka, vilket starkt korrelerar med antalet passagerare ombord (Cromnier & Södergren, 2023). Denna variation uppstår främst på grund av det nära sambandet mellan passagerarantal och den totala vikten som flygplanet måste bära. Med fler passagerare ombord ökar belastningen på flygplanet, vilket

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

direkt påverkar dess prestanda och därmed också dess räckvidd. För mindre elektriska flygplan tenderar flygsträckan att vara längre, eftersom det finns mindre vikt att bära och därmed mindre energi som krävs för att flyga. Dessa mindre plan kan ofta nå längre avstånd innan de behöver landa för att ladda batteriet. Denna variation i flygsträcka beroende på passagerarstorlek är en viktig faktor för flygplanstillverkare och flygbolag att beakta när de planerar rutter. Det är en viktig övervägning för att säkerställa att flygplanen kan flyga på effektivt sätt och möta både passagerarnas behov och de operativa kraven för flygbolagen.

3.4 Tidigare Svenska Studier

En tidigare studie "Infrastrukturmodellering för storskalig introduktion av elflyg och flygtrafikledning (MODELflyg)", undersöker elektrifieringens effekt på laddinfrastrukturen vid flygplatser (Alfredsson et al., 2022). I detta projekt utvecklades en modell i Python som kan använda historisk data för att generera nya flygscheman för elflyg. Den tar hänsyn till flygplansprestanda och batteriets laddning under flygningen samt tillgänglig laddningstid på flygplatsen. Genom att analysera flygplanens scheman och energibehov kunde man optimera laddningsprocessen. En smartladdningsalgoritm utvecklades för att undvika onödiga effekttoppar. Resultaten visade att laddningsbehoven varierade beroende på faktorer som flygplanstyp och flygscheman. Mjukvaran möjliggjorde även laborering med olika laddningsstrategier för att minska effekttopparna. Projektet syftade till att skapa ett flexibelt verktyg för att hantera osäkerheten kring elflygets framtida utveckling.

En annan studie "Accessibility study for electric aviation" handlar om tillgänglighetsutmaningarna i avlägsna och landsbygdsområden i Norden (Lundberg, 2022). Både invånare och företag har svårt att nå offentliga tjänster och locka till sig kompetens på grund av begränsad tillgång till transport och arbetsmöjligheter. Studiens syfte är att undersöka hur tillgängligheten kan förbättras genom att implementera elflyg på korta sträckor och förstå den potentiella påverkan det kan ha under de första stadierna av denna övergång. Studien är en del av projektet "Electric Aviation and the Effect on Nordic Regions" och syftar till att undersöka hur regioner och lokala områden i Norden kommer att påverkas av implementeringen av elflyg. Rapporten visar att det finns 203 rutter där elflyg skulle innebära betydande tidsvinster jämfört med andra transportmedel. De flesta av dessa rutter finns längs den norska kusten. Dock skulle en övergång till elflyg inte innebära tidsvinster i form av restid på grund av elflygens lägre hastighet jämfört med fossildrivna flygplan. Däremot kan ökad tillgänglighet mätas i antal avgångar, då elflygplan förväntas bli billigare att driva och möjliggöra fler avgångar med färre passagerare. Dessutom skulle en övergång till elflyg gynna klimatet och miljön. En övergång till elflyg kan även motiveras av behovet av snabba förbindelser över vatten mellan stadsområden och ökad tillgänglighet för landsbygdsområden. Slutligen identifieras potentiella regionala nav och viktiga förbindelser i norra delen av Norden där elflyget kan spela en viktig roll för att förbättra tillgängligheten.

En ytterligare studie "Elektrifierad flygtrafik mellan Stockholm och Visby" undersöker möjligheten att införa elflyg mellan Stockholm och Visby genom att utvärdera de tekniska och infrastrukturella förutsättningarna samt bedöma tidslinjen för en sådan övergång (Appelblom & Hansson, 2020). I dagens globala samhälle har människans påverkan på klimatet och miljön blivit betydande. För att uppfylla Parisavtalets mål krävs omställningar inom många sektorer, särskilt inom flygindustrin där utmaningarna för att minska

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

klimatavtrycket är betydande. En potentiell lösning är att övergå till elflygplan för att ersätta fossila bränslen. Denna studie utforskade om tekniska och infrastrukturella förutsättningar finns för att införa elflyg mellan Stockholm och Visby, och när en sådan övergång kan vara möjlig. Genom litteraturstudier och intervjuer undersöktes relevant kunskap inom batteriteknik, elmotorer, aerodynamik och flygplatsernas infrastruktur. En matematisk modell användes för att bedöma om nuvarande teknik är tillräcklig eller om förbättringar krävs. Resultaten visade att teoretiskt sett är det möjligt att tillverka elflygplan som kan täcka hela sträckan med befintlig teknik. Dock krävs sannolikt utveckling inom batteriteknik och aerodynamik, och infrastrukturen på flygplatserna behöver anpassas för elflyg. I ett optimistiskt scenario skulle det vara möjligt att elektrifiera flygtrafiken mellan Stockholm och Visby inom 10 år, förutsatt att dessa utmaningar adresseras och överkommas.

En annan studie "Utvärdering av förebyggande underhållsstrategi för elektriska flygplan" undersöker och fokuserar på betydelsen och genomförandet av förebyggande underhåll för elektriska flygplan inom flygindustrin (Alfredsson, A., 2023). Genom en litteraturgenomgång identifieras viktiga komponenter och system som kräver regelbunden övervakning och underhåll, inklusive elektriska motorer, batterier och styrsystem. Fördelarna med förebyggande underhåll, såsom minskade driftstopp och ökad livslängd för komponenter, presenteras tillsammans med olika implementeringsmetoder som tillståndsovervakningssystem och datadriven analys. Utmaningar relaterade till förebyggande underhåll diskuteras också, som datamängdshantering och utbildningsbehov för underhållspersonal. Slutsatsen är att användningen av förebyggande underhållsstrategier för elektriska flygplan är välgrundad och stöds av forskning och erfarenhet från olika branscher. Implementering av sådana strategier, inklusive användning av feldiagnostiseringar, kan markant förbättra tillförlitligheten hos elektriska flygplan och ge värdefulla vägledningar för flygindustrin.

4. Litteraturstudie

I detta kapitel presenteras litteraturstudien, vilket inkluderar litteratursökning och fördjupad studie inom arbetsbelastning, flygrörelser och elflygplan.

En central del av rapporten var att identifiera relevanta vetenskapliga källor för att samla in nödvändig information och öka förståelsen inom det valda området. Sökningen efter vetenskapliga texter genomfördes främst online med hjälp av olika databaser, främst Unisearch. Genom att använda olika typer av filter kunde resultatet på sökning bli mer specifik och mer relevant. Filter som användes var bland annat att det skulle vara akademiska skrifter, tillgängliga via Liu, peer-reviewed, fulltext och publikationer från de 5 senaste åren för att kunna få relevant och uppdaterad information. Dock valdes ett annat filter för 'Electric Aviation OR Electric Aircraft' som var artiklar från de senaste 12 månaderna, då detta är ett relativt nytt ämne som har haft en snabb utveckling. Sökstrategin inkluderade användning av sökoperatörer som "AND" och "OR" för att precisera sökningarna. För att hantera den stora mängden resultat organiserade vi dem noggrant och genomförde en grundlig genomläsning av majoriteten av artiklarna för att identifiera viktiga teman och slutsatser. "Electric Aviation" eller "Electric Aircraft" gav sökningen ett stort antal träffar, därför lästes inte majoriteten av artiklarna, utan läsningen fortsatte tills två tillräckligt bra artiklar hittades. Genom att kolla igenom majoriteten av källorna och granska abstrakt och sammanfattningar kunde man bedöma artikelns relevans och prioritera de mest relevanta. Tabellen nedan visar de sökord som användes, valda databaser, valda artiklar/böcker, samt resultat.

Tabell 1: Denna tabell är en översiktlig sammanfattning av vår sökningsprocess som förklarar antalet träffar, sökord, valda artiklar samt resultat träffar.

Sökord	Databas	Resultat	Valda Artiklar/Böcker
Air Traffic Controllers AND Workload	Unisearch	295	3
Aircraft movement AND Routes	Unisearch	57	2
Electric Aviation OR Electric Aircraft	Unisearch	2 779	2

4.1 Arbetsbelastning

Arbetsbelastningen för flygledare på mindre flygplatser är oftast intensiv under peak-perioder. Peak-effekter innebär att de mest intensiva ögonblicken under en arbetsperiod har en inverkan på den totala upplevelsen av arbetsbelastningen. I detta fall för flygledare kan dessa toppar uppstå under perioder av hög trafikintensitet eller kritiska moment under arbetspassen. Händelser som är emotionellt intensiva och stressande såsom en plötslig ökning av antalet flygplan eller en nödsituation, tenderar att starkt påverka

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

flygledarnas uppfattning om deras arbetsbelastning under hela skiftet. Detta beror på att dessa händelser är mycket minnesvärda och påverkar den totala bedömningen av arbetsbelastningen (Qiao et al., 2022). Perioder med hög trafikbelastning kräver mer kognitiva resurser och kan leda till att flygledare upplever en högre arbetsbelastning. Flygledare måste prestera på topp under dessa intensiva perioder, vilket kan påverka både säkerheten och effektiviteten. Det är viktigt att förstå hur peak påverkar flygledare och deras förmåga att fatta beslut för att kunna utforma bättre stöd och verktyg för dem.

Flera andra faktorer kan också påverka flygledarnas prestanda. Skiftarbete bidrar till ökad trötthet från morgon till kväll och påverkar sömnkvaliteten negativt. Särskilt problematiskt är nattpasset, där få flygledare är i tjänst, vilket leder till multitasking och högre nivåer av trötthet trots lägre trafikvolym. Dålig sömnkvalitet inför nattpasset förvärrar tröttheten, vilket är viktigt att beakta vid skiftplanering. Förutom ökad trötthet minskar även flygledarnas situationsmedvetenhet. Trötta flygledare tenderar att förlita sig mer på minnet än på externa verktyg, vilket försämrar noggrannheten i deras beslut. (Bongo et al., 2022)

Flygledarnas erfarenhet spelar en betydande roll i hur de hanterar mental arbetsbelastning. Mindre erfarna flygledare tenderar att uppvisa högre stress under peak perioder. Å andra sidan är mer erfarna flygledare rutinerade och vana vid att arbeta under peak (Radüntz et al., 2021). Samtidigt kan mindre erfarna flygledare ha det svårare för sig med mycket variation i trafikbelastning, vilket kan synas på deras förmåga att anpassa sig till olika situationer.

4.2 Flygrörelser

Flygbolag kan möta ökande passagerarantal genom att öka antalet flygningar eller använda större flygplan, vilket påverkar antalet flygrörelser. För att utvärdera ny teknik som exempelvis elflyg, hantera framtida utsläpp och förutse kapacitetsproblem är det viktigt att förutsäga dessa rörelser (Kölker et al., 2016). Elflygplan har potential att minska flygindustrins miljöpåverkan avsevärt, men de kommer med sina egna utmaningar, såsom begränsad räckvidd och behovet av ny infrastruktur för laddning. Genom att förutse flygrörelser kan flygbolag och flygplatser planera för en smidig övergång till elflyg och säkerställa att de nödvändiga resurserna finns på plats. Flygrörelser påverkar inte bara logistiken utan även den ekonomiska aspekten av flygindustrin. Genom noggranna prognoser kan flygplatser och flygbolag förutsäga behovet av investeringar i infrastruktur och utrustning, vilket är nödvändigt för att hantera framtida efterfrågan. Vidare kan bättre planering av flygrörelser bidra till att optimera personalresurser, minska operativa kostnader och förbättra den totala lönsamheten för flygbolagen.

Flygrörelser, som inkluderar starter och landningar, är en central del av flygtrafikhanteringen och påverkar luftrummet belastning, flygplatsernas kapacitet och miljöpåverkan. Prognoser över flygrörelser baseras ofta på modeller som tar hänsyn till passagerartillväxt, flygplansflottans sammansättning och operativa mönster. Dessa prognoser hjälper till att planera infrastrukturen på flygplatser och optimera flygrutter. Detta inkluderar utbyggnad av landningsbanor, taxibanor och terminalbyggnader för att hantera ökade volymer av flygplan och passagerare (Ajhari et al., 2022). Vidare kan optimerade flygrutter minska bränsleförbrukningen och därmed minska utsläppen av växthusgaser, vilket är ett viktigt mål

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

i strävan efter mer hållbar flygtrafik. Genom att förutse flygrörelser kan flygplatser bättre planera sina resurser och undvika flaskhalsar som kan leda till förseningar och ineffektivitet.

Dessutom är det viktigt att övervaka flygrörelser för att förbättra säkerheten och effektiviteten i flygtrafiken, samt för att stödja beslut om investeringar i ny teknik och hållbara flyglösningar. Genom att analysera data om flygrörelser kan potentiella risker identifieras och åtgärder vidtas för att förebygga olyckor. Flygrörelser påverkar även passagerarupplevelsen direkt. Effektiva och välplanerade flygrörelser kan leda till kortare väntetider, smidigare överföringar och en övergripande bättre reseupplevelse (Ajhari et al., 2022). Genom att använda data och prognoser för att optimera flygrörelser kan flygbolag och flygplatser förbättra kundnöjdheten och stärka sin konkurrenskraft på marknaden.

4.3 Forskning inom Elektrisk Luftfart

Elflygplan är flygplan som drivs av elektricitet istället för traditionellt flygbränsle som bensin eller jetbränsle. Dessa flygplan använder elektriska motorer för framdrift istället för förbränningsmotorer (Apostolidis et al., 2024). Elflygplan kan vara antingen helt elektriska, där de enbart får sin energi från batterier, eller hybridflygplan där de kombinerar eldrift med andra energikällor, såsom bränsleceller eller förbränningsmotorer som driver generatorer för att ladda batterierna ombord.

Elflygplan erbjuder flera potentiella fördelar jämfört med traditionella förbränningsmotorflygplan, inklusive minskad buller samt lägre driftskostnader. Helt eldrivna flygplan har även potential att ha lägre miljöpåverkan än sina fossildrivna motsvarigheter, förutsatt att de kan operera över en lång livstid. En längre livslängd möjliggör att flygkroppens miljöbelastning fördelas över många flygtimmar, och den effektiva eldriften minskar driftutsläppen jämfört med fossildrivna flygplan (Arvidsson et al., 2023). Vidare kan den miljöpåverkan som elflygplan medför minskas ytterligare genom att ladda dem med el från förnybara källor.

Även om elflygplan fortfarande är relativt nya på marknaden och har vissa begränsningar när det gäller räckvidd och prestanda jämfört med traditionella flygplan, har det skett en betydande utveckling och framsteg inom området under de senaste åren. Forskning och utveckling inom batteriteknik och elektrisk drivlina fortsätter att driva fram innovationer som förväntas förbättra elflygplans prestanda och tillgänglighet ytterligare i framtiden (Apostolidis et al., 2024).

4.4 Sammanställning av Litteraturstudien

Delkapitel 4.1, 4.2 och 4.3 ger en sammanhängande bild av flygledarnas arbetsmiljö, de utmaningar de står inför, och hur ny teknik som elflygplan kan påverka deras arbete. Genom att undersöka arbetsbelastning, flygrörelser och utvecklingen inom elektrisk luftfart ser vi tydliga samband som påverkar flygledningens effektivitet och säkerhet.

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

I delkapitel 4.1 framgår det att flygledarnas arbetsbelastning är intensiv under peak-perioder när trafikintensiteten är hög. Dessa perioder kräver betydande kognitiv ansträngning och kan leda till ökad stress och trötthet, särskilt för mindre erfarna flygledare. Skiftarbete bidrar ytterligare till deras trötthet och minskar deras situationsmedvetenhet.

När vi introducerar elflygplan (delkapitel 4.3) ser vi hur dessa påverkar flygrörelser (delkapitel 4.2). Eftersom elflygplan ofta är mindre än traditionella flygplan, kan det krävas fler flygningar för att transportera samma antal passagerare. Detta ökar antalet flygrörelser, vilket leder till en högre och mer konstant arbetsbelastning för flygledarna. Istället för att bara uppleva peak-perioder, kan flygledarna behöva hantera en konstant hög belastning, vilket ställer nya krav på deras kapacitet och resurser.

Denna förändring i arbetsbelastning kan kräva en bearbetning av hur flygledare stöds i sitt arbete. Det blir viktigt att utveckla nya strategier och verktyg för att hantera en konstant hög arbetsbelastning och minska risken för utmattning och misstag. Prognoser och planering av flygrörelser blir avgörande för att kunna hantera den ökade trafikvolymen effektivt. Flygplatser och flygbolag behöver investera i ny infrastruktur och optimera personalresurser för att undvika flaskhalsar och förbättra lönsamheten.

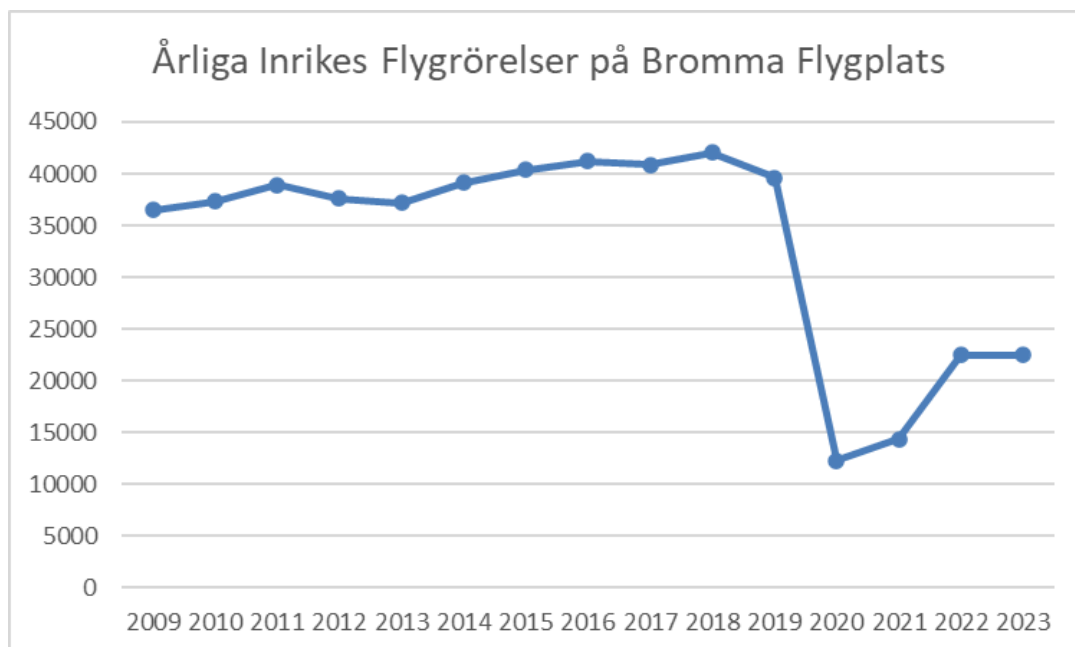
Genom att koppla samman dessa tre delkapitel kan vi se hur utvecklingen av elflygplan och ökade flygrörelser direkt påverkar flygledarnas arbetsmiljö. För att säkerställa säkerhet och effektivitet i flygtrafiken måste vi förstå dessa samband och arbeta proaktivt med att utveckla stödåtgärder och planeringsverktyg. På så sätt kan vi förbättra arbetsförhållandena för flygledarna och samtidigt främja en mer hållbar och säker flygtrafik.

5. Scenarioanalys

I detta kapitel presenteras scenarioanalysen, inklusive data och beräkningar.

I scenarioanalysen presenteras aktuell data för att illustrera nuvarande flygrörelser med vanliga kommersiella flygplan. Antalet flygrörelser inkluderar både avgångar och ankomster till flygplatser. Dessa flygrörelser kan påverkas av olika faktorer, såsom säsong, vilket också har analyserats närmare. Detta har varit basen för scenarioanalyser, där det har undersökts hur elflygplanen skulle kunna påverka antalet flygrörelser i olika scenarier.

Nedan visas årliga flygrörelser på Bromma flygplats, datan är tagen från Swedavia (Swedavia, 2024). Det som inkluderas är inrikes trafik. Det som exkluderas är utrikes, taxifyg, skolflyg, privatflyg och militärflyg. Det är dock viktigt att ta hänsyn till dessa flygningar eftersom de också räknas med i flygledarnas totala flygrörelser. Efter att ha extraherat data från FlightRadar24 har vi observerat att antalet exkluderade flygningar varierar betydligt från dag till dag. Under de dagar vi har granskat har det varit mellan 15 och 25 exkluderade flygningar per dag på Bromma flygplats. Bromma flygplats är öppen 15 timmar om dagen, från 07:00 till 22:00. Om vi tar medianvärdet av antalet flygningar, vilket är 20 flygningar per dag, och delar det med 15 timmar, får vi ett genomsnitt på cirka 1,33 exkluderade flygningar per timme. Dessa flygningar, som tidigare exkluderats, inkluderas nu i beräkningarna av alla flygrörelser eftersom det inte bara är elflyg som är i luften. En annan viktig upplysning är flygplatsens nuvarande kapacitet. Bromma flygplats kan hantera maximalt 9 flygrörelser per kvart (Nordic Airport Coordination, 2024). Denna siffra används som en referenspunkt när vi skapar våra scenarier.

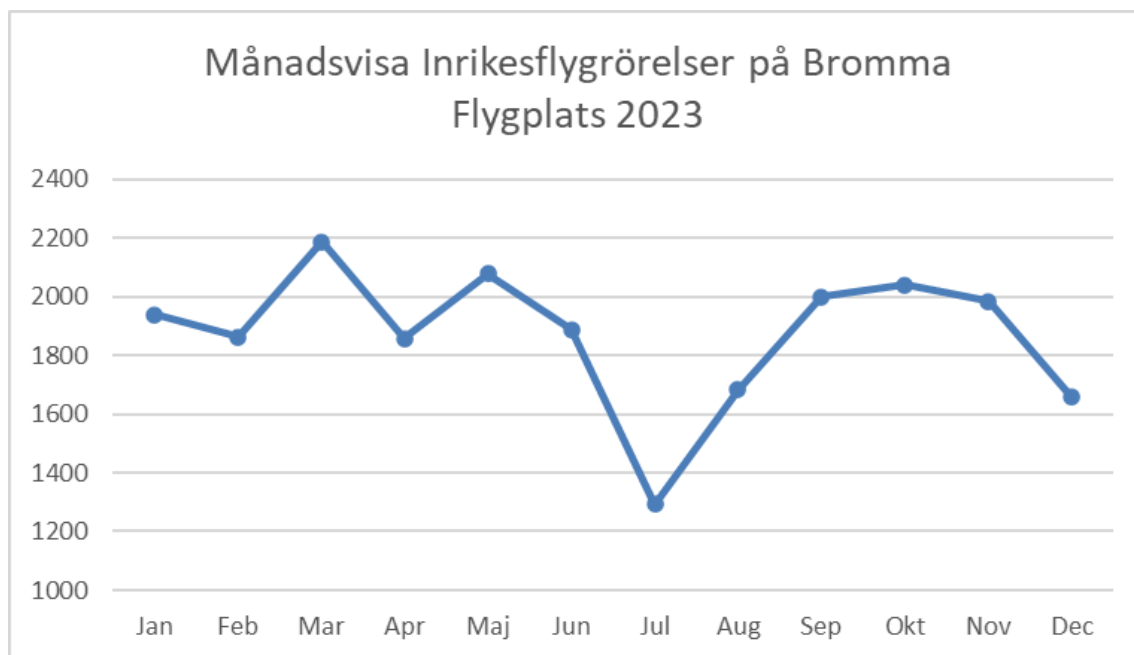


Figur 4: De årliga flygrörelserna på Bromma flygplats som sträcker sig mellan 2009-2023.

Figur 5 presenterar månadsvisa flygrörelser för år 2023. Valet av detta år beror på den betydande minskningen av flygaktivitet som orsakades av covid-19-pandemin under 2020,

följt av en gradvis återhämtning. Figur 4 tydliggör att flygaktiviteten nu stabiliseras och ökar stadigt.

Vi valde att fokusera på maj månad då FlightRadar24 tillåter oss att observera flygdata för dagen före, dagen under och dagen efter. Figur 5 visar flygaktiviteten i maj 2023 och att den inte når samma nivå som under mars månad, då aktiviteten var som högst. För att undvika att basera våra bedömningar på en månad med låg aktivitet och för att bättre matcha den högsta nivån av flygaktivitet, beslutade vi att öka antalet flygrörelser för maj månad med några procentenheter.



Figur 5: Inrikesflygrörelser på Bromma flygplats 2023.

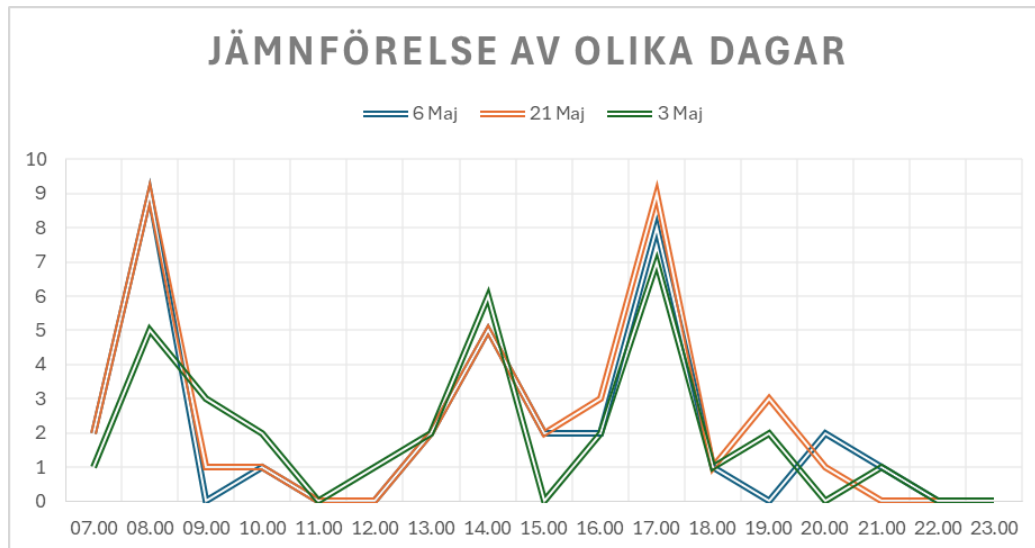
Under maj månad 2023 registrerades totalt 2078 flygrörelser, jämfört med 2186 under mars månad 2023. Den procentuella ökningen som har applicerats på maj månad från mars månad beräknas med hjälp av följande formel:

$$\text{Procentuella ökningen} = \frac{\text{Mars månad} - \text{Maj månad}}{\text{Maj månad}} \times 100$$

$$\frac{2186 - 2078}{2078} \times 100 \approx 5.20\% = 5\%$$

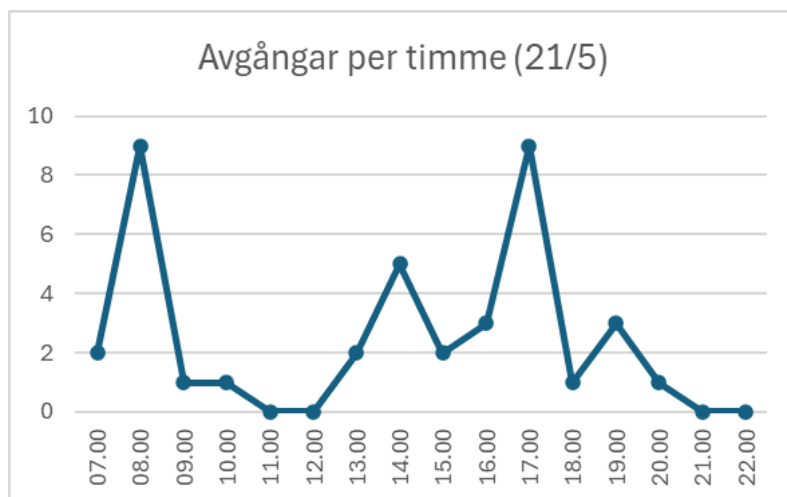
5.1 Scenario 1

Det första scenariot visar hur nuläget ser ut. Datan är hämtad från webbplatsen Flightradar24, där det finns information om avgångar, ankomster, tider, flygplanstyper och mycket mer. Vi har valt den 21 maj som dagen för detta scenario på grund av de begränsningar vi har. Vi jämförde situationen med andra tillgängliga dagar och märkte att flygrörelserna var liknande under alla dessa dagar (Se figur 6).

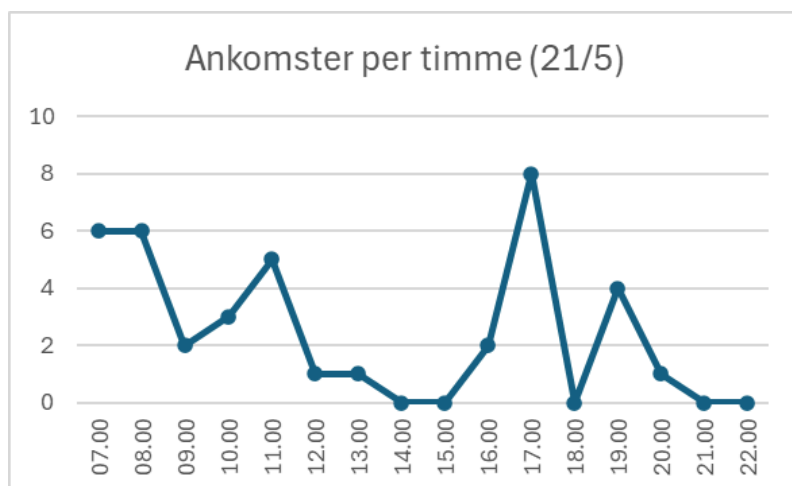


Figur 6: En jämförelse av avgångar på Bromma flygplats mellan olika dagar.

Genom att använda data från Flightradar24 har vi sammanställt grafer för att tydligt illustrera när trafiktoppar sker under dagen. Figur 7 visar antalet avgångar per timme under en hel dag (21/5). Grafen visar när trafiken är som mest intensiv och när det är lugnare för flygledare. Här framgår det att flest flygningar sker på morgonen och senare på eftermiddagen. Figur 8 visar antalet ankomster per timme samma dag (21/5). Liksom i Figur 5 framgår det när trafiken är som mest intensiv och när den är lugnare under dagen. För ankomster är det flest flygningar senare under eftermiddagen. Vi har fokuserat på perioden mellan 16:00 och 18:00, då det är mest trafik under dagen både för avgångar och ankomster.



Figur 7: Avgångar på Bromma flygplats.



Figur 8: Ankomster på Bromma flygplats

Nedan visas ett ungefärligt tvåtimmarsintervall för alla flygningar under högtrafik. Båda tabellerna innehåller information om avgångar, ankomster, tider, flygplanstyper och antal passagerare per flygning. Skillnaden mellan tabellerna är att tabell 2 visar flygningar som avgår från Bromma flygplats till andra destinationer, medan tabell 3 visar flygningar som ankommer till Bromma flygplats från andra destinationer.

Tabell 2: Tabellen visar ett 2 timmars intervall under peak för avgångar på Bromma flygplats.

Avgångsplats	Ankomstplats	Avgångstid	Flygplan	Passagerarplatser (st)
Bromma	Ängelholm	16:20	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	16:30	ATR 72-600	72
Bromma	Göteborg	16:35	ATR 72-600	72
Bromma	Malmö	17:00	Airbus A319	144
Bromma	Växjö	17:20	ATR 72-600	72
Bromma	Göteborg	17:35	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	17:35	ATR 72-600	72
Bromma	Malmö	17:45	Airbus A319	144
Bromma	Ängelholm	17:45	ATR 72-600	72
Bromma	Halmstad	17:45	ATR 72-600	72
Bromma	Umeå	17:50	ATR 72-600	72
Bromma	Kalmar	17:55	ATR 72-600	72

Tabell 3: Tabellen visar ett 2 timmars intervall under peak för ankomster på Bromma flygplats

Avgångsplats	Ankomstplats	Ankomsttid	Flygplan	Passagerarplatser (st)
Malmö	Bromma	16:30	Airbus A319	144
Östersund	Bromma	16:45	ATR 72-600	72

Balindervir Sekhon (balse618)
 Christoffer Karlsson (chrka877)

Visby	Bromma	17:05	ATR 72-600	72
Göteborg	Bromma	17:10	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	17:15	Airbus A319	144
Umeå	Bromma	17:15	ATR 72-600	72
Ängelholm	Bromma	17:20	ATR 72-600	72
Halmstad	Bromma	17:20	ATR 72-600	72
Kalmar	Bromma	17:25	ATR 72-600	72
Ronneby	Bromma	17:35	ATR 72-600	72

Totalt antal flygrörelser under peak är 22. Vi behöver beräkna antalet flygrörelser per kvart för att underlätta uppskattningen av arbetsbördan för flygledare och för att jämföra med elflygplanen. En 2-timmarsperiod består av 8 kvartar, eftersom en timme består av 4 kvartar. Observera att den 5-procentiga ökningen tas med i beräkningen.

Antalet flygrörelser per kvart:

$$\text{Antal flygrörelser per kvart} = \frac{(\text{Totalt antal flygrörelser} + \text{Exkluderade flygrörelser} \times \text{antal timmar}) \times \text{Procentuell ökning}}{\text{Antal kvatar}}$$

$$\frac{(22 + 1.33 \times 2) \times 1.05}{8} = 3.236625 \approx 3 \text{ flygrörelser per kvart}$$

5.2 Scenario 2

Det andra scenariot visar hur det skulle se ut om alla flygplan ersattes av elflygplan, i detta fall med hjälp av ES-30. Detta scenario betraktas som ett scenario med enbart elflygplan. Vidare följer två tabeller som visar samma information som i tabell 2 och 3, men med elflygplan av typen ES-30 istället för de tidigare flygplanstyperna. Liksom tidigare visas avgångar, ankomster, tider, flygplanstyper, antal passagerare per flygning samt nu även antalet elflygplan som krävs för att nästan ersätta den nuvarande kapaciteten.

Tabell 4: Tabellen visar ett 2 timmars intervall under peak för avgångar på Bromma flygplats där alla flygplan har ersatts med ES-30.

Avgångsplats	Ankomstplats	Avgångstid	Flygplan	Passagerarplatser (st)	Antal elflygplan (st)
Bromma	Ängelholm	16:20	ES-30	30	2
Bromma	Visby	16:30	ES-30	30	2
Bromma	Göteborg	16:35	ES-30	30	2
Bromma	Malmö	17:00	ES-30	30	4
Bromma	Växjö	17:20	ES-30	30	2
Bromma	Göteborg	17:35	ES-30	30	2

Bromma	Visby	17:35	ES-30	30	2
Bromma	Malmö	17:45	ES-30	30	4
Bromma	Ängelholm	17:45	ES-30	30	2
Bromma	Halmstad	17:45	ES-30	30	2
Bromma	Umeå	17:50	ES-30	30	2
Bromma	Kalmar	17:55	ES-30	30	2

Tabell 5: Tabellen visar ett 2 timmars intervall under peak för ankomster på Bromma flygplats där samtliga flygplan har ersatts med ES-30.

Avgångsplats	Ankomstplats	Ankomsttid	Flygplan	Passagerarplatser (st)	Antal elflygplan (st)
Malmö	Bromma	16:30	ES-30	30	4
Östersund	Bromma	16:45	ES-30	30	2
Visby	Bromma	17:05	ES-30	30	2
Göteborg	Bromma	17:10	ES-30	30	2
Malmö	Bromma	17:15	ES-30	30	4
Umeå	Bromma	17:15	ES-30	30	2
Ängelholm	Bromma	17:20	ES-30	30	2
Halmstad	Bromma	17:20	ES-30	30	2
Kalmar	Bromma	17:25	ES-30	30	2
Ronneby	Bromma	17:35	ES-30	30	2

Totalt blir det 52 flygrörelser när alla flygplan ersätts med elflygplan. Genom att tillämpa samma formel kan vi beräkna antalet flygrörelser per kvart.

$$\frac{(52 + 1.33 \times 2) \times 1.05}{8} = 7.174125 \approx 7 \text{ flygrörelser per kvart}$$

Om vi jämför resultaten mellan det nuvarande läget och scenariot, ser vi en tydlig ökning. Detta är naturligt eftersom ES-30 bara har 30 passagerarplatser jämfört med BRA:s ATR 72-600, som har 72 passagerarplatser och Airbus A319 med 144 passagerarplatser.

5.3 Scenario 3

I detta scenario har vi undersökt effekterna av att införa elflygplan på utvalda rutter där små plan används idag. Genom att fokusera på rutter med kort restid kan vi få en tydligare bild av hur elflygplanen kan påverka flygledarnas arbetsbelastning på ett mer realistiskt sätt. I vissa rutter, där större flygplan behövs för att täcka sträckan fullt ut, har vi behållit befintliga flygplan och inte byta till elflygplan. Detta beror på att det skulle krävas betydligt fler

Balindervir Sekhon (balse618)
 Christoffer Karlsson (chrka877)

elflygplan för att täcka samma sträcka. Vi har använt samma datum som i det tidigare scenariot, den 21 maj, för att göra en slutgiltig jämförelse och få en tydligare överblick över nuvarande situation samt alla scenarier. De valda rutterna är Visby, Kalmar, Växjö och Östersund. Dessa valdes då de är 1 timme eller mindre i restid vilket ES-30 kan hantera väl. Observera att kolumnen 'Antal elflygplan' visar 0 på vissa, eftersom dessa inte ersätts av elflygplan.

Tabell 6: Tabellen visar ett 2 timmars intervall under peak för ankomster på Bromma flygplats där vissa flygplan har ersatts med ES-30.

Avgångsplat s	Ankomstplat s	Avgångstid	Flygplan	Passagerarplatse r (st)	Antal elflygplan (st)
Bromma	Ängelholm	16:20	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	16:30	ES-30	30	2
Bromma	Göteborg	16:35	ATR 72-600	72	0
Bromma	Malmö	17:00	Airbus A319	144	0
Bromma	Växjö	17:20	ES-30	30	2
Bromma	Göteborg	17:35	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	17:35	ES-30	30	2
Bromma	Malmö	17:45	Airbus A319	144	0
Bromma	Ängelholm	17:45	ATR 72-600	72	0
Bromma	Halmstad	17:45	ATR 72-600	72	0
Bromma	Umeå	17:50	ATR 72-600	72	0
Bromma	Kalmar	17:55	ES-30	30	2

Tabell 7: Tabellen visar ett 2 timmars intervall under peak för avgångar på Bromma flygplats där vissa flygplan har ersatts med ES-30.

Avgångsplat s	Ankomstplat s	Ankomsttid	Flygplan	Passagerarplatse r (st)	Antal elflygplan (st)
Malmö	Bromma	16:30	Airbus A319	144	0
Östersund	Bromma	16:45	ES-30	30	2
Visby	Bromma	17:05	ES-30	30	2
Göteborg	Bromma	17:10	ATR 72-600	72	0
Malmö	Bromma	17:15	Airbus A319	144	0
Umeå	Bromma	17:15	ATR 72-600	72	0
Ängelholm	Bromma	17:20	ATR 72-600	72	0
Halmstad	Bromma	17:20	ATR 72-600	72	0

Balindervir Sekhon (balse618)
 Christoffer Karlsson (chrka877)

Kalmar	Bromma	17:25	ES-30	30	2
Ronneby	Bromma	17:35	ATR 72-600	72	0

Totalt antal flygrörelser under peak är 29, vilket överstiger scenario 1 med 22 flygrörelser. Restiderna för de olika rutterna varierar mellan 1 timme och 1 timme 20 minuter, vilket också kan skilja sig avsevärt beroende på vilken gräns man sätter för vad elflygplanen kan hantera. Utifrån de valda rutterna som implementerades med elflygplan så är det möjligt att hantera dessa flygrörelser på Bromma flygplats.

Antalet flygrörelser per kvart:

$$\frac{(29 + 1.33 \times 2) \times 1.05}{8} = 4.155375 \approx 4 \text{ flygrörelser per kvart}$$

5.4 Scenario 4

I detta scenario har vi analyserat en heldag (21/5) på Bromma flygplats, med fokus på ett jämnt fördelat antal flygrörelser. Genom att studera ett scenario med mer utjämnade rörelser kan vi bättre förstå hur flygplatsens kapacitet utnyttjas under dagen.

Tabell 8: Tabellen visar en heldag för avgångar på Bromma flygplats.

Avgångsplats	Ankomstplats	Avgångstid	Flygplan	Passagerarplatser (st)
Bromma	Malmö	07:00	Airbus A319	144
Bromma	Göteborg	07:40	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	08:10	ATR 72-600	72
Bromma	Kalmar	08:10	ATR 72-600	72
Bromma	Malmö	08:20	Airbus A319	144
Bromma	Halmstad	08:20	ATR 72-600	72
Bromma	Ronneby	08:25	ATR 72-600	72
Bromma	Ängelholm	08:35	ATR 72-600	72
Bromma	Växjö	08:35	ATR 72-600	72
Bromma	Umeå	08:40	ATR 72-600	72
Bromma	Aarhus	08:55	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	09:05	ATR 72-600	72

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

Bromma	Malmö	10:10	Airbus A319	144
Bromma	Östersund	13:20	ATR 72-600	72
Bromma	Umeå	13:50	ATR 72-600	72
Bromma	Ängelholm	14:20	ATR 72-600	72
Bromma	Göteborg	14:25	ATR 72-600	72
Bromma	Malmö	14:35	Airbus A319	144
Bromma	Halmstad	14:35	ATR 72-600	72
Bromma	Ronneby	14:55	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	15:00	ATR 72-600	72
Bromma	Kalmar	15:10	ATR 72-600	72
Bromma	Ängelholm	16:20	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	16:30	ATR 72-600	72
Bromma	Göteborg	16:35	ATR 72-600	72
Bromma	Malmö	17:00	Airbus A319	144
Bromma	Växjö	17:20	ATR 72-600	72
Bromma	Göteborg	17:35	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	17:35	ATR 72-600	72
Bromma	Malmö	17:45	Airbus A319	144
Bromma	Ängelholm	17:45	ATR 72-600	72
Bromma	Halmstad	17:45	ATR 72-600	72
Bromma	Umeå	17:50	ATR 72-600	72
Bromma	Kalmar	17:55	ATR 72-600	72
Bromma	Ronneby	18:10	ATR 72-600	72
Bromma	Malmö	19:35	ATR 72-600	72
Bromma	Ängelholm	19:50	ATR 72-600	72
Bromma	Göteborg	19:55	ATR 72-600	72
Bromma	Visby	20:15	ATR 72-600	72

Tabell 9: Tabellen visar en heldag för ankomster på Bromma flygplats

Avgångsplats	Ankomstplat s	Avgångstid	Flygplan	Passagerarplatser (st)
Visby	Bromma	07:15	ATR 72-600	72
Göteborg	Bromma	07:40	ATR 72-600	72
Kalmar	Bromma	07:45	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	07:50	Airbus A319	144
Ronneby	Bromma	07:50	ATR 72-600	72
Halmstad	Bromma	07:55	ATR 72-600	72
Ängelholm	Bromma	08:00	ATR 72-600	72
Växjö	Bromma	08:00	ATR 72-600	72
Visby	Bromma	08:10	ATR 72-600	72
Göteborg	Bromma	08:25	ATR 72-600	72
Ängelholm	Bromma	08:30	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	08:40	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	09:40	Airbus A319	144
Visby	Bromma	09:55	ATR 72-600	72
Göteborg	Bromma	10:20	ATR 72-600	72
Kalmar	Bromma	10:30	ATR 72-600	72
Visby	Bromma	10:50	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	11:00	Airbus A319	144
Ronneby	Bromma	11:05	ATR 72-600	72
Halmstad	Bromma	11:10	ATR 72-600	72
Umeå	Bromma	11:45	ATR 72-600	72
Ängelholm	Bromma	11:45	ATR 72-600	72
Aarhus	Bromma	12:20	ATR 72-600	72

Växjö	Bromma	13:40	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	16:30	Airbus A319	144
Östersund	Bromma	16:45	ATR 72-600	72
Visby	Bromma	17:05	ATR 72-600	72
Göteborg	Bromma	17:10	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	17:15	Airbus A319	144
Umeå	Bromma	17:15	ATR 72-600	72
Ängelholm	Bromma	17:20	ATR 72-600	72
Halmstad	Bromma	17:20	ATR 72-600	72
Kalmar	Bromma	17:25	ATR 72-600	72
Ronneby	Bromma	17:35	ATR 72-600	72
Ängelholm	Bromma	19:15	ATR 72-600	72
Visby	Bromma	19:20	ATR 72-600	72
Göteborg	Bromma	19:30	ATR 72-600	72
Malmö	Bromma	19:40	Airbus A319	144
Umeå	Bromma	20:55	ATR 72-600	72

Under en hel dag har Bromma flygplats totalt 78 flygrörelser, vilket kan jämföras med scenario 1 där vi undersökte ett två timmars intervall med 22 flygrörelser. Detta motsvarar cirka 30 % av dagens totala flygrörelser. Med ett genomsnitt på 2 flygrörelser per kvart över hela dagen är denna siffra relativt låg och hanterbar för flygledare, eftersom gränsen ligger på maximalt 9 flygrörelser per kvart. Det som dock kräver särskild uppmärksamhet är peak-perioderna, som i scenario 1, där aktiviteten är betydligt högre. Dessutom kan antalet flygrörelser öka avsevärt med införandet av elflygplan.

$$\frac{(78 + 1.33 \times 15) \times 1.05}{60} = 1.714125 \approx 2 \text{ flygrörelser per kvart}$$

5.5 Scenario 5

I detta scenario har vi undersökt effekterna av att införa elflygplan på utvalda rutter där små plan används idag, precis som i scenario 3. Den stora skillnaden är att i detta fall har det undersökts flygningar för hela dagen (21/5) istället för en mindre period under dagen. De valda rutterna är precis som innan, det vill säga Visby, Kalmar, Växjö och Östersund. Dessa valdes även då de är 1 timme eller mindre i restid vilket ES-30 kan hantera.

Tabell 10: Tabellen visar en heldag för avgångar på Bromma flygplats där vissa flygplan har ersatts med ES-30.

Avgångsplats	Ankomstplats	Avgångstid	Flygplan	Passagerarplatser (st)	Elflygplan (st)
Bromma	Malmö	07:00	Airbus A319	144	0
Bromma	Göteborg	07:40	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	08:10	ES-30	30	2
Bromma	Kalmar	08:10	ES-30	30	2
Bromma	Malmö	08:20	Airbus A319	144	0
Bromma	Halmstad	08:20	ATR 72-600	72	0
Bromma	Ronneby	08:25	ATR 72-600	72	0
Bromma	Ängelholm	08:35	ATR 72-600	72	0
Bromma	Växjö	08:35	ES-30	30	2
Bromma	Umeå	08:40	ATR 72-600	72	0
Bromma	Aarhus	08:55	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	09:05	ES-30	30	2
Bromma	Malmö	10:10	Airbus A319	144	0
Bromma	Östersund	13:20	ES-30	30	2
Bromma	Umeå	13:50	ATR 72-600	72	0
Bromma	Ängelholm	14:20	ATR 72-600	72	0
Bromma	Göteborg	14:25	ATR 72-600	72	0

Balindervir Sekhon (balse618)
 Christoffer Karlsson (chrka877)

Bromma	Malmö	14:35	Airbus A319	144	0
Bromma	Halmstad	14:35	ATR 72-600	72	0
Bromma	Ronneby	14:55	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	15:00	ES-30	30	2
Bromma	Kalmar	15:10	ES-30	30	2
Bromma	Ängelholm	16:20	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	16:30	ES-30	30	2
Bromma	Göteborg	16:35	ATR 72-600	72	0
Bromma	Malmö	17:00	Airbus A319	144	0
Bromma	Växjö	17:20	ES-30	30	2
Bromma	Göteborg	17:35	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	17:35	ES-30	30	2
Bromma	Malmö	17:45	Airbus A319	144	0
Bromma	Ängelholm	17:45	ATR 72-600	72	0
Bromma	Halmstad	17:45	ATR 72-600	72	0
Bromma	Umeå	17:50	ATR 72-600	72	0
Bromma	Kalmar	17:55	ES-30	30	2
Bromma	Ronneby	18:10	ATR 72-600	72	0
Bromma	Malmö	19:35	ATR 72-600	72	0

Balindervir Sekhon (balse618)
 Christoffer Karlsson (chrka877)

Bromma	Ängelholm	19:50	ATR 72-600	72	0
Bromma	Göteborg	19:55	ATR 72-600	72	0
Bromma	Visby	20:15	ES-30	30	2

Tabell 11: Tabellen visar en heldag för ankomster på Bromma flygplats där vissa flygplan har ersatts med ES-30.

Avgångsplat s	Ankomstplats	Avgångsti d	Flygplan	Passagerarplats er (st)	Elflygplan (st)
Visby	Bromma	07:15	ES-30	30	2
Göteborg	Bromma	07:40	ATR 72-600	72	0
Kalmar	Bromma	07:45	ES-30	30	2
Malmö	Bromma	07:50	Airbus A319	144	0
Ronneby	Bromma	07:50	ATR 72-600	72	0
Halmstad	Bromma	07:55	ATR 72-600	72	0
Ängelholm	Bromma	08:00	ATR 72-600	72	0
Växjö	Bromma	08:00	ES-30	30	2
Visby	Bromma	08:10	ES-30	30	2
Göteborg	Bromma	08:25	ATR 72-600	72	0
Ängelholm	Bromma	08:30	ATR 72-600	72	0
Malmö	Bromma	08:40	ATR 72-600	72	0
Malmö	Bromma	09:40	Airbus A319	144	0
Visby	Bromma	09:55	ES-30	30	2

Balindervir Sekhon (balse618)
 Christoffer Karlsson (chrka877)

Göteborg	Bromma	10:20	ATR 72-600	72	0
Kalmar	Bromma	10:30	ES-30	30	2
Visby	Bromma	10:50	ES-30	30	2
Malmö	Bromma	11:00	Airbus A319	144	0
Ronneby	Bromma	11:05	ATR 72-600	72	0
Halmstad	Bromma	11:10	ATR 72-600	72	0
Umeå	Bromma	11:45	ATR 72-600	72	0
Ängelholm	Bromma	11:45	ATR 72-600	72	0
Aarhus	Bromma	12:20	ATR 72-600	72	0
Växjö	Bromma	13:40	ES-30	30	2
Malmö	Bromma	16:30	Airbus A319	144	0
Östersund	Bromma	16:45	ES-30	30	2
Visby	Bromma	17:05	ES-30	30	2
Göteborg	Bromma	17:10	ATR 72-600	72	0
Malmö	Bromma	17:15	Airbus A319	144	0
Umeå	Bromma	17:15	ATR 72-600	72	0
Ängelholm	Bromma	17:20	ATR 72-600	72	0
Halmstad	Bromma	17:20	ATR 72-600	72	0
Kalmar	Bromma	17:25	ES-30	30	2

Ronneby	Bromma	17:35	ATR 72-600	72	0
Ängelholm	Bromma	19:15	ATR 72-600	72	0
Visby	Bromma	19:20	ES-30	30	2
Göteborg	Bromma	19:30	ATR 72-600	72	0
Malmö	Bromma	19:40	Airbus A319	144	0
Umeå	Bromma	20:55	ATR 72-600	72	0

Genom att ersätta vissa rutter på Bromma flygplats under en heldag blir det totalt 102 flygrörelser. Jämfört med scenario 4, som hade 78 flygrörelser, detta innebär en ökning med 24 flygrörelser. Trots ökningen resulterar detta fortfarande i ett genomsnitt på 2 flygrörelser per kvart, samma som i scenario 4. Detta visar att om flygningarna sprids jämnt över dagen, finns det potential att införa elektriska luftfartyg på vissa rutter utan att öka arbetsbelastningen för flygledarna.

$$\frac{(102 + 1.33 \times 15) \times 1.05}{60} = 2.134125 \approx 2 \text{ flygrörelser per kvart}$$

Nedan presenteras resultaten av vår analys av olika scenarier för införandet av elflyg. Vi har jämfört hur antalet flygrörelser förändras beroende på olika implementeringsstrategier.

Tabell 12: Sammanställning av scenarioanalysen.

Scenario	Period (timmar)	Antal flygrörelser per kvartal	Kommentar
1. Nuläget	2	3	Nuvarande situation
2. Enbart elflygplan - alla flyg elflyg	2	7	Alla konventionella flygplan ersätts med elflygplan
3. Utvalda rutter - elflyg	2	4	Elflyg på utvalda rutter
4. Nuläget (heldag)	15	2	Nuvarande situation över en hel dag
5. Utvalda rutter - elflyg (heldag)	15	2	Elflyg på utvalda rutter över en hel dag

6. Dataanalys och Frågeutformning för Intervjuomgång med Flygledare

6.1 Dataanalys

Den utformade intervjun är strukturerad för att förstå hur införandet av elflygplan kan påverka flygledarnas arbete och arbetsmiljö, liknande intervjuomgång 1. Denna intervju syftar till att samla in data om nuvarande arbetsbelastning, stressnivåer, och förväntade förändringar med införandet av elflygplan och generella frågor kring flygrörelser och infrastruktur. I denna analys beskrivs hur dessa frågor är strukturerade och hur de förväntas ge insikt i flygledarnas arbetsmiljö både nu och i framtiden.

Intervjun inleds med frågor som kartlägger flygledarnas bakgrund och erfarenhet, samt hur de hanterar specifika utmaningar i deras nuvarande arbetsmiljö. Dessa frågor hjälper till att få en grundläggande förståelse för flygledarnas erfarenhet, deras hantering av stressiga situationer och hur de hanterar trötthet, vilket är avgörande för att bedöma deras beredskap för framtida förändringar. Dessa frågor baseras på litteraturstudien som beskriver hur peak-perioder påverkar flygledarnas arbetsbelastning och deras förmåga att fatta beslut under stressiga situationer (Qiao et al., 2022). En annan viktig del är sömnmönster och stressnivåer samt effekterna av skiftarbete. Forskning visar att skiftarbete kan påverka sömnkvaliteten negativt och öka tröttheten särskilt under nattpass (Bongo et al., 2022).

Följande frågor fokuserar på hur antalet flygrörelser påverkar flygledarnas dagliga arbetsbelastning och kapacitet på flygplatsen. Dessa frågor syftar till att identifiera hur ökningar i trafikintensitet påverkar flygledarnas arbetsbelastning och hur de uppfattar kapaciteten hos deras arbetsmiljö.

Efter att ha etablerat en baslinje för nuvarande arbetsförhållanden övergår intervjun till att utforska potentiella förändringar med införandet av elflygplan. Här används data från scenarioanalysen för att ge respondenterna en konkret bild av hur framtida arbetsmiljö kan se ut med elflygplan. Dessa scenariobaserade frågor hjälper till att förstå hur olika mönster av trafikintensitet kan påverka flygledarnas arbetsbelastning och flygplatsens kapacitet. Eftersom denna scenarioanalysen baseras på Bromma flygplats är det viktigt att ge insikt i hur nuläget ser ut så att flygledare kan jämföra resultaten med införandet av elflygplan under peak eller heldag.

Frågor om prioritering och beslutsfattande i en blandad miljö av elflygplan och traditionella flygplan undersöker hur sådana beslut påverkar arbetsflödet. Dessa frågor är avgörande för att förstå de operativa utmaningar och beslutsfattande processer som flygledare kan möta med införandet av elflygplan.

Avslutningsvis fokuserar intervjun på de praktiska aspekterna av införandet av elflygplan där det har använts information från intervjuomgång 1. Detta inkluderar frågor om laddningsinfrastruktur, hantering av nya flygrörelser och eventuella behov av förändringar kring ATM. Dessa frågor ger en djupare insikt i utmaningarna för flygledarnas arbetsmiljö,

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

samt hur dessa förändringar kan hanteras för att säkerställa en smidig övergång till elflygplan.

Den utformade intervjun är strukturerad för att få en grundläggande förståelse för flygledarnas nuvarande arbetsförhållanden, för att sedan gradvis introducera scenarier och frågor om framtida förändring med införandet av elflygplan. Genom att använda en kombination av frågor som täcker arbetsbelastning, flygrörelser, scenarioanalyser och eventuella utmaningar och förändringar leder detta till en omfattande bild av hur elflygplan kan påverka flygledarnas arbete.

6.2 Intervjuomgång med Flygledare

Som innan nämnt i kapitel 2.2 har vi använt informationen från flygbolag/flygplanstillverkare som ett stöd för att utforma frågor till flygledare inför vår intervjuundersökning. Detta kan vara vilka rutter de förväntar sig att implementera elflygplan och hur de tänker kring laddningsstationer. Intervjuomgången med flygledare baseras på resultaten från vår scenarioanalys och litteraturstudien. Våra frågor har riktat sig mot flygledarnas åsikter om flygrörelserna och hur deras arbete kan förväntas påverkas av införandet av elflygplan. Personer som har intervjuats har fått en muntlig beskrivning av samtliga scenarier och andra oklarheter har också förklarats vid behov.

Följande frågor ställdes under intervjuerna:

1. Kan du berätta lite om din bakgrund och erfarenhet som flygledare?
2. Kan du beskriva hur plötsliga ökningar i trafikintensitet eller nödsituationer påverkar ditt arbete?
3. Hur hanterar du trötthet och minskad situationsmedvetenhet under kvällspass?
4. Hur påverkar antalet flygrörelser din dagliga arbetsbelastning?
5. Vilka utmaningar möter du när du hanterar ett ökande antal flygrörelser, och hur påverkar det flygplatsens kapacitet?
6. Scenario 1: (Beskrivning av scenariot) Är detta scenario rimligt?
7. Scenario 2: (Beskrivning av scenariot) Hur skulle du hantera en situation där antalet flygrörelser ökar från 3 till 7 per 15 minuter under en peak-period? Vilka utmaningar skulle detta medföra?
8. Scenario 3: (Beskrivning av scenariot) Om vi istället ser en ökning till 4 flygrörelser per 15 minuter med specifika rutter, hur skulle detta påverka hanterbarheten och flygplatsens kapacitet? Hur skulle arbetsbördan för flygledarna skilja sig mellan dessa två scenarier?
9. Scenario 4: (Beskrivning av scenariot) Verkar detta scenario vara rimligt om man kollar på hur en hel dag ser ut?

10. Scenario 5: (Beskrivning av scenariot) Trots att både scenario 4 och 5 har samma antal flygrörelser per kvart, skiljer de sig i sin belastning under peak. Skulle en jämn fördelning av flygningar över hela dagen och därigenom minskad belastning under peak vara en lämplig lösning?

11. I ett scenario med en blandning av elflygplan och bränsle drivna flygplan, vilka kriterier bör användas för att prioritera landningen mellan ett elflygplan med tre passagerare och lågt batteri jämfört med ett vanligt flygplan med hundra passagerare?

12. Hur påverkar sådana prioriteringsbeslut flygledarnas arbetsflöde och beslutstagande?

13. Vilka specifika förändringar tror du att elflygplan kan medföra för flygledarnas arbetsuppgifter och arbetsmiljö?

14. Kan du ge exempel på hur elflygplan kan förändra din dagliga arbetsrutin?

15. Vilka är de största utmaningarna du ser med att integrera elflygplan i det nuvarande luftfartssystemet från ett flygledarperspektiv?

16. Hur tror du att dessa utmaningar kan hanteras eller lösas på bästa sätt?

17. Hur tror du att elflygplan kommer att påverka flygtrafikens kapacitet och effektivitet vid olika flygplatser?

18. Kan du se några specifika fördelar eller nackdelar med elflygplan när det gäller flygplatsens totala kapacitet?

19. Hur tror du att flygledarnas roll kommer att utvecklas med den ökande användningen av elflygplan i framtiden?

20. Vilka fördelar och utmaningar ser du med att hantera elflyg jämfört med traditionella flygplan?

7. Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet vilket inkluderar intervjuer och scenarioanalyser.

Vi har haft förmånen att intervjua tre erfarna flygledare för att få en ännu djupare förståelse för deras arbete och de utmaningar de står inför i sitt dagliga arbete. Nedan presenteras en utförlig sammanfattning av våra samtal.

Under våra samtal framhöll flygledarna vikten av en gynnsam arbetsmiljö för att underlätta deras kommunikation med piloterna och säkerställa flygsäkerheten. De berättade utförligt om sina personliga strategier för att hantera stress och trötthet under sina skift, vilket inkluderade att anpassa sina arbetsscheman för att optimera sin fysiska och mentala prestation. Att erbjuda stöd och en känsla av trygghet till piloterna var också en central del av deras arbetsmetodik. Deras dagliga arbete påverkas inte särskilt mycket av flygrörelser eftersom antalet flygningar är lågt i jämförelse med deras hanterbara kapacitet. Efter pandemin har de inte återgått till tidigare nivåer. De flygningar som sker är oftast inrikes och följer ett förutsägbart mönster dagligen. Om antalet flygningar skulle öka en dag är de oftast förberedda på detta. Vid särskilt hög belastning följer de riktlinjer och anvisningar som prioriteringar, sorteringar och kommunikation med piloterna.

De scenarier som presenterades väckte vissa tankar. Flygledare påpekade att elflygplan är mindre än konventionella flygplan, vilket kan leda till fler flygrörelser om elflygplan implementeras på rutter som kräver fler avgångar. Flygledarna menar också att antalet flygrörelser som presenterades i scenarierna sannolikt är hanterbart under peak-tider, då Bromma flygplats redan har kapacitet för att hantera dessa volymer. Problemet ligger snarare i att hantera olika typer av flygplan. Att organisera flygplanen efter deras prestanda är mer utmanande än antalet flygrörelser. Man vill undvika att långsammare elflygplan hamnar framför större och snabbare flygplan, då detta kan skapa flaskhalsar i luftrummet. Flygrörelser påverkas när flera flygplan med olika prestanda anländer eller avgår samtidigt från flygplatsen. Det nämndes också att om elflygplan skulle ersätta alla konventionella flygplan, skulle det leda till betydligt fler flygningar under hela dagen. Flygledarna förklarade att det då skulle behövas fler anställda för att kunna avlösa varandra och minska risken för utmattning under hela dagen.

Flygledarna förklarade ingående hur de tillämpar prioriteringsstrategier för att effektivt hantera nödsituationer och situationer med bränslebrist. De nämnde att ett flygplan som behöver landa på grund av bränsle- eller batteribrist kommer att få företräde oavsett antalet passagerare ombord och vilket flygplan eller flygbolag det är. Genom att betona betydelsen av kontinuerlig kommunikation med piloterna, syns det hur viktig denna faktor är för att säkerställa en effektiv och säker flygtrafik.

Diskussionerna kring elflygplan ledde till reflektioner om både möjligheter och utmaningar inför framtiden. Flygledarna gav en ingående analys av behovet av att integrera dessa nya flygplan i det befintliga luftfartssystemet. De betonade betydelsen av att utveckla innovativa strategier för att hantera den ökande användningen av elflygplan, vilket kan ske bland annat med hjälp av en bra laddningsinfrastruktur och alltid matcha personalkapacitet med flygningarnas efterfrågan. Det diskuterades även infrastrukturella utmaningar kring

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

flygplatser och behovet av att se till att den nuvarande infrastrukturen kan hantera den ökande volymen av elflygplan på ett effektivt och hållbart sätt utan att negativt påverka olika delar av ATM och flygledare, samt även ha en normal arbetsbelastning. Genom att belysa frågor kring laddningsinfrastruktur och driftsäkerhet för elflygplan, gav de en inblick i de praktiska utmaningar som måste övervinnas för att främja en smidig övergång till elflygplan inom luftfartsindustrin. Dessa utmaningar är bland annat att hinna med laddningen av elflygplanet under turn-around tiden eller att den ökade elförbrukningen inte leder till högre koldioxidutsläpp genom att integrera förnybara energikällor i laddningsinfrastrukturen.

Resultatet visade att införandet av elflygplan inte förväntas påverka flygledarnas arbete särskilt mycket. Detta gäller särskilt ES-30 då det är flygplanet som användes under samtliga scenarier. ES-30 användes på grund av att de ligger i framkant med sin utveckling och planeras att vara i drift inom kort.

Utmaningar kan dock uppstå om antalet rörelser är maximala hela tiden över dagen, eftersom den nuvarande personalkapaciteten på Bromma flygplats inte är tillräcklig för detta. Utöver detta kan det också uppstå problem om det finns en mångfald av flygplanstyper med varierande räckvidder, motorer och storlekar. Det kan innebära att flygledare måste anpassa sig till olika prestandakrav och flygplanens unika egenskaper, vilket kan öka arbetsbelastningen och kräva mer noggrann planering och koordinering för att säkerställa en smidig och säker flygtrafik. Flygledare försöker alltid att sekvensera flygplanen som ska landa på ett så bra sätt som möjligt eftersom det är fördelaktigt att placera de snabbare flygplanen framför de långsammare. Flygplanen kan dessutom ha olika stignings- och nedstigningsprofiler, vilket flygledare måste beakta när de planerar och koordinerar flygningarna.

Vissa delar av ATM kan också påverkas vid expanderings och utveckling av infrastrukturen på flygplatsen, vilket kan vara nya laddningsstationer för elflygplanen. Ett annat problem är batterierna, vilket kräver en välplanerad strategi att ladda för att undvika att förlänga turn-around-tiden. ATM påverkas av detta på grund av att det kan finnas nya förhållningsregler som behöver följas och ny typ av arbete som måste införas för att logistiken ska fungera på ett bra sätt. För att framgångsrikt integrera elflygplan i framtiden krävs den största anpassningen inom kapacitet, eftersom detta behövs för att möta den ökade flygtrafikens behov. Denna kapacitet kan vara i form av större elflygplan med fler passagerarplatser eller mer personal i tornen för att kunna hantera mängden flygplan utan att arbetsbelastningen ska bli för hög.

8. Diskussion

I denna diskussion utforskas de möjliga utfallen om undersökningen genomförs med alternativa metoder och tillvägagångssätt. Det analyseras hur generaliserbara resultaten är, med fokus på hur tillämpliga de är för andra flygplatser både i Sverige och internationellt. Genom att jämföra våra resultat med tidigare studier inom samma område undersöks om våra fynd bekräftar tidigare forskning eller om de bidrar med ny kunskap. Målet är att förstå de potentiella variationerna i resultat beroende på metodval och att placera vår studie i ett bredare forskningssammanhang.

Scenarioanalysen, som utgör en av de tre centrala komponenterna i våra intervjuer med flygledare, visar på några brister. En av de huvudsakliga utmaningarna är analysen av data. På grund av begränsningar med FlightRadar24 kan man inte extrahera data från tidigare månader för att kunna jämföra veckovisa mönster istället för dagliga. Det hade varit fördelaktigt att använda mars 2024, en månad med förväntad hög trafik, och jämföra den med mars 2023. Om mars 2024 visar sig ha färre flygningar än mars 2023, kan man justera siffrorna procentuellt för att bättre matcha föregående års nivåer. En mer detaljerad analys av avgångar och ankomster under dagarna med hjälp av FlightRadar24 kan också göras om datan kan extraheras mer effektivt, helst i ett kalkylarkformat, vilket skulle spara tid och möjliggöra veckovisa analyser istället för dagliga.

Formeln som används är tämligen generell eftersom majoriteten av flygningarna på Bromma sker med BRA. Andra aktörer som Finnair, privata flygningar och militära operationer förekommer men är mer sporadiska. En mer detaljerad differentiering mellan olika typer av flygningar skulle göra resultaten mer exakta. Det är ändå fördelaktigt att enheten som används i formeln matchar vår kontrollkälla, vilket också stämmer överens med flygledarnas erfarenheter.

En vidareutveckling av scenarierna, som till exempel att undersöka enbart elflygplansscenariot under en hel dag istället för bara ett tvåtimmarsintervall, kan ge mer insiktsfulla resultat. Dock saknas vissa konstanta variabler som skulle möjliggöra en mer detaljerad uppdelning av olika typer av flygningar, vilket kan förbättra noggrannheten i svaren.

En av de största bristerna med scenarioanalysen är användningen av endast en typ av elflygplan för att ersätta de konventionella flygplanen. Detta val görs eftersom många elflygplansmodeller antingen är för små, med en passagerarkapacitet på endast 9 platser, vilket kräver ett oproportionerligt stort antal flygplan för att möta efterfrågan. Dessutom befinner sig flera av dessa elflygplansmodeller fortfarande på idéstadiet eller i tidiga utvecklingsfaser, vilket gör det osannolikt att de kommer att finnas tillgängliga inom en snar framtid. Många projekt avbryts också på grund av tekniska hinder, särskilt vad gäller batterikapacitet. Ett exempel på ett projekt som avbröts är elflygplanet ES-19 från Heart Aerospace, då de istället valde att fokusera på ES-30 som har fler passagerarsäten. Ytterligare ett projekt som avbröts är E-fan X av Airbus, vilket avbröts på grund av Covid-19 pandemin.

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

ES-30 väljs som den mest realistiska elflygplansmodellen eftersom den förväntas implementeras inom några år och har en passagerarkapacitet som kan möta efterfrågan på Bromma flygplats. ES-30 kapacitet och utvecklingsstadium gör den till ett trovärdigt alternativ till de nuvarande flygplanen som används på flygplatsen.

För att fördjupa förståelsen av flygledarnas arbete och de utmaningar de möter, finns det flera områden där tillvägagångssättet med intervjuer kan förbättras. Ett första steg är att utöka urvalet av intervjupersoner. Genom att inkludera fler flygledare från Bromma flygplats, men även från olika flygplatser som både kan vara större och mindre, kan en mer varierad och omfattande bild erhållas av hur arbetsmiljö och utmaningar kan skilja sig åt. Mer detaljerade och specifika frågor som täcker olika aspekter av flygledarnas arbetsliv skulle också bidra till en djupare insikt. Detta inkluderar tekniska detaljer, specifika metoder och konkreta exempel på utmaningar. Längre intervjutid skulle möjliggöra djupare samtal och mer utförliga svar, samt ge intervjupersonerna tid att reflektera över frågorna innan intervjun.

Den svagaste delen av vår metod var intervjuerna med flygtillverkare och flygbolag. Även om dessa intervjuer gav värdefulla insikter om deras åsikter kring implementationen av elflygplan, inklusive marknadsläget, möjliga rutter och nödvändiga förändringar för att uppnå lönsamhet, bidrog de inte med relevant information för att följa upp med flygledare. Flygledarnas arbete berörs inte direkt av dessa aspekter. Vi hade dock några frågor kring laddningsstationer och rutter för att få en uppfattning om deras synpunkter, vilket gjorde att intervjuerna med flygtillverkare och flygbolag fungerade som ett stöd för att förstå helhetsbilden för alla aktörer. Alltså kunde dessa insikter inte användas vidare i intervjuerna med flygledare.

Kombinationen av intervjuer och andra datainsamlingsmetoder, såsom observationer på arbetsplatsen, enkäter eller fokusgrupper, kan också ge en mer mångfacetterad bild av flygledarnas arbete och deras upplevelser. Att jämföra intervjudata med annan information, såsom befintlig forskning, statistiska data om flygrörelser och tekniska rapporter om elflygplan, skulle stärka trovärdigheten och ge en mer robust grund för slutsatserna. Denna triangulering möjliggör en djupare analys av hur införandet av elflygplan påverkar flygledarnas arbete och vilka strategier som krävs för att hantera dessa förändringar.

För att förbättra tillvägagångssättet för att undersöka hur elektrisk luftfart kommer att påverka flygtrafikledningen och den potentiella ökningen av flygrörelser, finns det flera områden där förbättringar kan göras.

För det första kan forskningsunderlaget breddas genom att inte enbart förlita sig på litteraturstudier utan också inkludera andra källor såsom marknadsanalyser och branschrapporter. Genom att utöka informationsbasen kan en mer omfattande förståelse för de tekniska, ekonomiska och operativa aspekterna av elflygplan erhållas.

Vidare kan jämförelser med internationella exempel där elflygplan redan implementerats eller testas ge en bredare kontext för att bedöma konsekvenserna och utmaningarna. Genom att dra lärdom av andra länders erfarenheter kan potentiella utmaningar identifieras och hanteras på ett mer effektivt sätt.

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

För att ytterligare förbättra och fördjupa studiens avgränsningar kan flera strategier övervägas. Ett första steg är att utöka urvalet av flygplatser som inkluderas i studien. Genom att undersöka flera flygplatser inom Sverige, både större och mindre, kan en mer representativ bild erhållas av hur elflygplan kan påverka olika typer av flygplatsmiljöer. Detta ger en mer omfattande förståelse av de operativa och infrastrukturella utmaningar som olika flygplatser står inför.

Ekonomiska analyser är också en viktig del som kan inkluderas. Genom att jämföra kostnader mellan elflygplan och konventionella flygplan samt analysera de investeringar som krävs i infrastruktur, kan studien erbjuda en mer heltäckande förståelse av de ekonomiska konsekvenserna av att övergå till elektrisk flygning.

Utöver detta kan studien utvidgas för att inkludera fler tekniska aspekter av elflygplan, såsom batteriteknologi, laddningsinfrastruktur och underhållskrav. En ytterligare aspekt kan vara miljöpåverkan, såsom utsläppsminskningar och energiförbrukning. Att fokusera på tekniska detaljer och hållbarhetsaspekter ger en mer djupgående bild av de utmaningar och möjligheter som elflygplan medför, och hur dessa aspekter påverkar flygplatsernas dagliga drift.

Resultatet av studien ger värdefulla insikter i flygledarnas arbete och de utmaningar de möter, särskilt i samband med införandet av elflygplan. Dessa insikter kan ha en viss generaliserbarhet för andra flygplatser, både i Sverige och internationellt.

Trots att studien genomförs med fokus på Bromma flygplats, kan flera av de identifierade utmaningarna och strategierna för att hantera dem vara relevanta för andra flygplatser med liknande förhållanden, speciellt mindre flygplatser som Bromma. Jämfört med Bromma flygplats har Arlanda en betydligt större kapacitet och hanterar en mer varierad mix av flygplan och flygtrafik. Med tanke på denna skillnad kan vissa av de identifierade utmaningarna och strategierna för flygledarna vid Bromma vara annorlunda eller mer komplexa vid Arlanda. Till exempel, med en högre volym av flygtrafik kan frågor som stresshantering och kommunikation med piloter vid Arlanda vara ännu viktigare och mer utmanande än vid Bromma. Dessutom kan hanteringen av olika flygplanstyper vara mer diversifierad vid Arlanda, med större variation i storlek, prestanda och flygrutter. Detta kan öka komplexiteten i flygledarnas arbete och kräva mer flexibilitet och noggrannhet i planering och koordinering. Däremot är det viktigt att ha förståelse för att varje flygplats har sina unika förhållanden och att resultatens direkta applicerbarhet kan variera beroende på specifika omständigheter. För att bedöma den exakta generaliserbarheten av resultaten för andra flygplatser i Sverige och världen krävs ytterligare undersökningar och jämförelser med andra platser och deras specifika förutsättningar.

Eldriven flygtrafik har potential att revolutionera kortdistansflyg genom att erbjuda ett mer hållbart alternativ till traditionella flygplan. Flera studier har undersökt olika aspekter av elflyg, inklusive tekniska utmaningar, infrastrukturkrav och tillgänglighet. Denna jämförelse sammanfattar resultaten från de fyra tidigare studierna (kapitel 3.4) som belyser både möjligheter och hinder för elflygets framtid.

I jämförelse indikerade resultatdelen i studien Appelblom et al. (2022) att elektrifiering av flygtrafik mellan Stockholm och Visby är tekniskt möjlig, men kräver betydande förbättringar

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

av batteriteknik och aerodynamik. Studien påpekade också att infrastrukturen på flygplatserna måste anpassas för elflygplan. Specifika utmaningar inkluderar den nuvarande bristen på laddningsstandarder och behovet av affärsmodeller som stödjer investeringar i laddningsinfrastruktur. Dessa slutsatser korrelerar med vad som togs upp i denna studie, där Visby identifierades som en lämplig linje att ersätta med elflygplan i scenarioanalysen. Intervjuer med flygbolag betonade att investeringar i laddningsinfrastruktur och utveckling av affärsmodeller är nödvändiga för att standardisera laddningsstationer. Dessutom framhölls att batteritekniken behöver förbättras både i energitäthet och vikt för att möjliggöra längre rutter och större flygplan.

En annan studie (Lundberg, 2022), visade att elflyg kan förbättra tillgängligheten mellan urbana och rurala områden samt över vatten, där nuvarande transportalternativ är långsammare eller obefintliga. Studien betonade att elflyg är särskilt fördelaktigt för att koppla arbetsmarknader som är geografiskt nära men separerade av vatten. Denna studie fokuserade mer på de potentiella fördelarna med elflyg ur ett tidsperspektiv snarare än tekniska utmaningar.

Resultaten av studien Alfredsson et al. (2022) indikerade att införandet av elflyg kräver betydande investeringar i laddningsinfrastruktur på flygplatser. Det framgick att smart laddning kan minska effekttoppar och därmed behovet av hög effektkapacitet. Studien visade också att elektrifiering av befintlig flygtrafik är genomförbar, men att det kräver noggrann planering och optimering av laddning och flygscheman. Denna studie överensstämmer väl med vad som togs upp i resultatet för arbetet där elflygplan är genomförbara i den befintliga flygtrafiken, dock var den största utmaningen planeringen och sekvenseringen.

En annan studie (Alfredsson A, 2023), fokuserade på potentialen för nya elflyglinjer i norra Sverige som regional hubb. Resultaten visade att förbindelserna i norra Sverige kan dra nytta av elflyg, särskilt med optimerad schemaläggning och laddningsinfrastruktur. Studien visade att smart laddning och effektiv schemaläggning kan minska de totala effekttopparna på flygplatserna, vilket underlättar integreringen av elflyg.

Jämförelsen visade att resultatdelen från arbetet överensstämmer med tidigare studier i flera avseenden. Samtliga studier underströk behovet av schemaläggning, planering och anpassad infrastruktur för att möjliggöra effektiv användning av elflyg. Det fanns en gemensam förståelse för de tekniska utmaningar som måste lösas för att elflyg ska bli en hållbar transportlösning.

En annan sak som testades var att jämföra nuvarande resultat med ett resultat genererat av AI (ChatGPT). Detta är ett experiment som kommer att hjälpa till att förstå värdet av människors arbete. Resultatet visade att ChatGPT kan replikera vad en flygledare generellt skulle säga om man bad den att låtsas vara en. Det är dock viktigt att använda referenser från verkliga flygledare för att säkerställa att informationen är autentisk och inte genererad av AI. ChatGPT ger många exempel och ger generell information kring många nyckelpunkter, vilket gör att AI nämner några av våra svar som de flygledare vi intervjuade gav. Till exempel svarade ChatGPT på vår första fråga "om införandet av elflygplan förväntas påverka flygledarna..." att det skulle ha en påverkan, medan våra intervjuade angav att det inte skulle det. På andra frågor var Chats svar mycket breda och täckte många aspekter. Vi

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

nämnde specifikt att sekvensen av flygplan är viktigare än kvantiteten, men den berörde bara detta kort innan den gick vidare till andra aspekter (ChatGPT, 2024).

9. Slutsats

I detta kapitel presenteras slutsatsen för arbetet.

Införandet av elflygplan som alternativ och komplement till konventionella flygplan förväntas vara hanterbara, dock förväntas antalet flygrörelser öka, särskilt om elflygplan implementeras på rutter som kräver fler avgångar på grund av deras mindre storlek och eventuella kortare räckvidd. Detta kan leda till ökad belastning på flygtrafikledningen och kräva mer noggrann planering för att hantera den ökade volymen av flygningar. Detta kommer att vara hanterbart för flygledare på Bromma flygplats.

Den potentiella förändringen av flygrörelser förväntas påverka ATM genom att öka arbetsbelastningen för flygledare och kräva mer komplex planering och koordinering för att säkerställa en smidig och säker flygtrafik. Det kan också kräva anpassningar i ATM-systemet för att hantera den ökade variationen av flygplanstyper och deras unika egenskaper.

Det kan krävas nya anpassningar i ATM-systemet för att integrera elflygplan, särskilt när det gäller att hantera den ökade volymen av flygningar, prioritera olika flygplanstyper och optimera resursallokeringen för att säkerställa säkerhet och effektivitet i flygtrafiken. Det kan också krävas investeringar i infrastruktur, som laddningsstationer för elflygplan, och utveckling av nya riktlinjer och procedurer för att hantera de specifika behoven och utmaningarna med elflygplan.

Vidare för att adressera de utmaningar som uppstår med införandet av elektrisk flygning för flygledarna, föreslås vidare forskning inom arbetsbelastningsanalys. Det är viktigt att utforska hur införandet av elektriska flygplan påverkar arbetsbelastningen för flygledare, med fokus på analys av olika flygplanstyper och deras specifika egenskaper såsom hastighet och passagerarkapacitet.

Forskningen bör även fokusera på hur elektriska flygplan kan påverka sekvenseringen av flygplan vid landning och start. Det är avgörande att förstå hur variationer i hastighet och andra faktorer hos elektriska flygplan kan påverka flygledarnas förmåga att hantera flygtrafiken effektivt.

10. Bilagor

Intervjuer med Flygtillverkare/Flygbolag

I detta kapitel presenteras samtlig intervjuomgångar, vilka frågor som ställdes under intervjuerna och det presenteras även sammanställningar av samtliga svar.

Intervjuomgång med Flygtillverkare/Flygbolag

Syftet med den första intervjuomgången med flygbolag/flygplanstillverkare är att undersöka och analysera övergången till elflygplan från olika perspektiv. Fokus har varit att få djupare förståelse för vilka modeller och rutter som planeras att användas, samt identifiera de utmaningar och möjligheter som denna övergång medför. Genom att utforska säkerhetsaspekter, efterfrågan på elflygplan och deras potentiella miljöfördelar strävar vi efter att belysa de strategier och planer som behövs för att effektivt integrera elflygplan i flygbranschen. Nedan visas vilka frågor som ställs under intervjuomgången med flygbolag/flygplanstillverkare. Personer som har intervjuats har fått en muntlig beskrivning av olika delar vid oklarheter.

1. Kan du berätta lite om din bakgrund och erfarenhet som anställd hos flygbolag/flygtillverkare?
2. Vilka flygplansmodeller kommer det att användas?
3. Vilka flygrutter kommer ni ersätta och vilka nya flygrutter kommer att införas med elflygplan?
4. Hur ser efterfrågan ut på dessa rutter, kommer elflygplanen att kunna hantera det?
5. Vilka specifika utmaningar förutser ni att ni kommer att möta med elflygplan?
6. Hur tror ni att övergången från konventionella flygplan till elflygplan kommer att påverka antalet flygrörelser vid Bromma flygplats?
7. Finns det några specifika säkerhetsaspekter eller risker som ni ser i samband med elflygplan som behöver hanteras på ett annat sätt jämfört med konventionella flygplan?
8. Hur ser ni på framtida utvecklingar inom elflygteknologin och hur kan dessa påverka era planer och strategier på lång sikt?
9. Hur ser ni på den potentiella miljöpåverkan och hållbarhetsfördelarna med att övergå till elflygplan?
10. Hur planerar ni att hantera infrastrukturbehoven för elflygplan, såsom laddningsstationer.

Sammanställning av intervjuomgången

Intervju 1

Den första intervjun gjordes med Simon Reinberth som är Airport Infrastructure & Nordic Government Affairs Manager på Heart Aerospace. Under intervjun diskuterades en rad olika ämnen, inklusive företagets bakgrund, deras planer för framtiden och de tekniska utmaningar de står inför. Nedan följer en sammanfattning av de viktigaste punkterna som framfördes.

Heart Aerospace, ett startup-företag grundat 2018 av Anders och Klara Forslund, fokuserar på att utveckla elflygplan för att revolutionera flygindustrin. De började med ambitionen att skapa ett 19-sättes elflygplan, men övergick sedan till att utveckla ES-30, ett hybridflygplan med 30 säten. Detta beslut togs med tanke på de tekniska utmaningarna med batteritekniken som fortfarande är under utveckling.

En stor del av diskussionen kretsade kring företagets planer för att möta den växande efterfrågan och infrastrukturutmaningarna. Heart Aerospace ser potentialen i att operera på mindre flygplatser och att öppna upp nya rutter, vilket kan vara ekonomiskt möjligt med deras elflygplan. De har redan säkrat många order och intresse från olika flygbolag runt om i världen. De planerar att lansera ES-30 före 2030 och genomföra tester med flygbolaget BRA under de kommande åren.

En av de största tekniska utmaningarna Heart Aerospace står inför är batteritekniken och räckvidden hos deras elflygplan. De har valt att integrera ett hybridssystem i ES-30 för att möta de stränga säkerhetskraven, vilket ger möjlighet att använda både elflygning och hybridflygning beroende på resan och batteriets tillstånd.

Dessutom diskuterades utmaningar relaterade till laddningsinfrastrukturen, inklusive behovet av snabbbladdning och infrastrukturuppgraderingar på mindre flygplatser. Heart Aerospace betonade även behovet av att omvärdera befintliga avgifter och regelverk för elflygplan för att underlätta övergången till denna nya teknologi.

Intervju 2

Den andra intervjun gjordes tillsammans med Lars Resare som är hållbarhetschef på flygbolaget BRA. Intervjun bestod av olika frågor rörande elflyg, efterfrågan, säkerhet och infrastruktur. Nedan visas en sammanfattning av intervjun.

Diskussionen om elflyg är omfattande och spänner över flera viktiga ämnen. Ett centralt tema är kostnaden för elflygbiljetter och hur den kan påverka efterfrågan. Säkerhet är en annan avgörande faktor som diskuteras. Med övergången till elflyg uppstår nya säkerhetsfrågor, särskilt med tanke på användningen av litiumbatterier och andra nya teknologier. Det finns oro kring hur dessa risker ska hanteras och om elflygplanen kan uppfylla de stränga säkerhetskraven.

Infrastrukturbehovet för elflyg är också av betydelse. För att stödja elflyg behövs laddningsstationer och andra faciliteter på flygplatserna. När det kommer till investering inom

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

infrastruktur krävs det samarbete mellan olika intressenter för att möjliggöra en smidig övergång till elflyg.

Vidare diskuteras affärsmodeller för elflyg och dess långsiktiga hållbarhet. Det är avgörande att utveckla affärsmodeller som är ekonomiskt hållbara och som kan stödja elflygets tillväxt på lång sikt. Detta kan kräva innovativa tillvägagångssätt och samarbete mellan flygbolag, flygplatser, myndigheter och andra intressenter.

Intervju 3

Den tredje intervjun som utfördes var med Imke Kleinbekman som är Senior Network Manager på SAS. Imke gav oss en djupgående inblick i företagets nuvarande flygplansflotta, leasingmodeller samt deras syn på framtida elektriska flygplan och hållbarhetsutmaningar.

SAS använder en varierad flotta av flygplansmodeller anpassade för olika typer av rutter och marknader. Den minsta modellen i deras flotta är ett propellerplan, ATR-72, med 70 säten, som främst används för inrikesflygningar i Danmark och Sverige, samt kortare rutter till norra Tyskland. Dessa plan opereras via wet lease, vilket innebär att både flygplan och personal hyrs in.

Nästa modell, CRJ-900 (eller CRJ), har 90 säten och används också via wet lease. Dessa jetplan är snabbare än propellerplanen och används för något längre rutter som Stockholm-Billund, Oslo-Haugesund (under vissa tider av året) och Arlanda-Ronneby/Ängelholm. Embraer-flygplanen är ett nyare tillskott i flottan och har 122 säten. De används på liknande rutter som CRJ men för något större marknader.

SAS har också en äldre Airbus-flotta bestående av modellerna 319 med 150 säten och 320 med 168 säten. På grund av deras högre bränsleförbrukning används dessa plan för kortare rutter. Den nyare Airbus-flottan inkluderar modellen 320 Neo med 180 säten, vilket är SAS största flotta med 67 flygplan. Några av dessa modeller har utökade bränsletankar för att kunna genomföra interkontinentala flygningar. Slutligen har SAS åtta stora flygplan som används för långdistansrutter till USA och Asien, inklusive modellen 321LR som liknar 320 Neo men är lite längre och har större bränsletankar för interkontinentala flygningar, till exempel till New York.

Under intervjun diskuterades även framtidens elektriska flygplan och deras potential att ersätta nuvarande modeller. Nuvarande elektriska flygplan är små, med en kapacitet på cirka 19-30 säten, vilket är betydligt mindre än SAS minsta nuvarande flygplan med 70 säten. För att elflygplan ska bli relevanta för SAS, behöver de antingen bli större eller så måste SAS förändra sin marknadsstrategi. Det finns potential att använda elflygplan för korta inrikesrutter eller Public Service Obligation-rutter, som Arlanda-Sveg, där mindre flygplan skulle vara lämpliga.

Vätgasflygplan diskuterades också som ett alternativ. Vätgasproduktion kräver grön el, vilket idag är begränsat. Dock kan vätgas vara mer relevant för SAS eftersom det finns planer för större flygplan med 100-200 säten, som bättre passar in i deras nätverk.

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

Ett tredje alternativ är användningen av Sustainable Aviation Fuel (SAF), som kan användas i nuvarande flygplansflotta för att minska utsläppen. SAF är dock dyrt och begränsat tillgängligt. SAS är intresserade av alla dessa alternativ, men ekonomiska och tekniska utmaningar begränsar möjligheterna att implementera dem fullt ut.

En annan viktig aspekt som togs upp är infrastrukturen för elflygplan, såsom laddningsstationer. Flygplatser är ansvariga för denna infrastruktur, och SAS har pågående diskussioner med flygplatser för att etablera laddstationer. Ett problem är den korta turnaround-tiden på så lågt som 25 minuter. På t.ex. Arlanda, Oslo och Köpenhamn har de längre turn-around-tider på grund av catering och annat, typ 40 minuter och på de flesta mindre stationer med 320 Neo har 30 minuter. Möjliga lösningar inkluderar snabb laddning eller batteribyten.

Om SAS skulle börja använda mindre elflygplan med färre säten skulle det krävas högre frekvens på rutterna, vilket ökar antalet flygrörelser och personalbehov och även flygplansbehov (så det blir helt enkelt en större investering). Detta skulle innebära både operativa och ekonomiska utmaningar.

Referenser

Ajhari, A. A., & Negara, I. G. P. K. (2022). Aircraft Flight Movement Anomaly Detection using Automatic Dependent Surveillance-Broadcast. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 6(4), 821-828.

<https://joiv.org/index.php/joiv/article/view/948> [Hämtad: 2024-05-19]

Alfredsson, A. (2023). Utvärdering av förebyggande underhållsstrategi för elektriska flygplan.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1814044/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad: 2024-05-14]

Alfredsson, H., Nyman, J., Joborn, M., Staack, I., & Petit, O. (2022). Infrastrukturmodellering för storskalig introduktion av elflyg och flygtrafikledning (MODELflyg).

https://www.ri.se/sites/default/files/2023-07/MODELflyg_SLUTRAPPORT.pdf [Hämtad: 2024-04-15]

AOG. (2023). COVID-19 AVIATION INDUSTRY RECOVERY.

<https://www.oag.com/coronavirus-airline-schedules-data> [Hämtad: 2024-04-08]

Appelblom, H., & Hansson, R. (2020). Elektrifierad flygtrafik mellan Stockholm och Visby: Elflygets potential ur ett teknik-och infrastrukturperspektiv.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1440683/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad: 2024-05-13]

Arblaster, M. (2018). Air traffic management: economics, regulation and governance. Elsevier. [Hämtad: 2024-05-14]

Arbetsmiljöverket. (2021). Hantera arbetsbelastning.

<https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/broschyror/hantera-arbetsbelastning-broschy-adi701.pdf> [Hämtad: 2024-02-19]

Arvidsson, R., Nordelöf, A., & Brynolf, S. (2024). Life cycle assessment of a two-seater all-electric aircraft. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(2), 240-254.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-023-02244-z> [Hämtad: 2024-05-26]

Apostolidis, A., Donckers, S., Peijnenburg, D., & Stamoulis, K. P. (2024). Electric Aircraft Operations: An Interisland Mobility Case Study. *Aerospace*, 11(3), 170.

<https://www.mdpi.com/2226-4310/11/3/170> [Hämtad: 2024-05-26]

Belobaba, P., Odoni, A., & Barnhart, C. (Eds.). (2015). *The global airline industry*. John Wiley & Sons. [Hämtad: 2024-05-17]

Bryman, A. (2002). *Samhällsvetenskapliga metoder*. Malmö: Liber [Hämtad: 2024-04-16]

Bongo, M., & Seva, R. (2022). Effect of fatigue in air traffic controllers' workload, situation awareness, and control strategy. *International Journal of Aerospace Psychology*, 32(1), 1-23. [Hämtad: 2024-05-20]

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

ChatGPT. (2024). ChatGPT.

<https://chatgpt.com/share/1b5c25a2-7f5c-480e-afd7-792b5e275e02>

[Hämtad: 2024-07-04]

Cromnier, M., & Södergren, E. (2023). Electric Passenger Aviation in Sweden: An analysis from the perspective of the Swedish aviation industry.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1783712/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad:

2024-04-25]

Eurocontrol. (2018). Challenges of growth 2018.

<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/reports/challenges-of-growth-2018.pdf> [Hämtad: 2024-04-08]

Eurocontrol. (2021). Procedures for Airspace Management

<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/34118.pdf> [Hämtad: 2024-04-18]

Eviation. (2024). Eviation Alice.

<https://www.eviation.com/> [Hämtad: 2024-04-23]

Heart Aerospace. (2024). ES-30.

<https://heartaerospace.com/es-30/> [Hämtad: 2024-04-23]

ICAO. (2007). International Civil Aviation Vocabulary.

<https://www.spilve.lv/library/various/Doc%209713.pdf> [Hämtad: 2024-04-17]

ICAO. (2020). GLOBAL PERFORMANCE OF THE AIR NAVIGATION SYSTEM.

https://www.icao.int/SAM/Documents/2020-RLA06901-ANPVOLIII/1_2_Doc.%209883%20GPM.pdf [Hämtad: 2024-04-16]

Independent Business Group. (2022). Morgondagens flyg.

<https://www.transportforetagen.se/globalassets/rappporter/flyg/rapport-morgondagens-flyg.pdf?ts=8da16e651fa6500> [Hämtad: 2024-04-15]

Kelton, W. D., Sadowski, R., & Zupick, N. (2014). Simulation with Arena (6th edition).

[Hämtad: 2024-04-23]

Kvale, S., & Brinkmann, S. (2014). Den kvalitativa forskningsintervjun: Studentlitteratur.

Lund, senaste utgåvan. [Hämtad: 2024-04-23]

Kylmä, F., & Nagmér, R. (2007). Arbetsbelastning hos flygledare: utveckling av belastningsenkät för flygledningsarbete på mindre flygplatser.

<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1324842&fileId=1324843> [Hämtad: 2024-05-08]

Kölker, K., Bießlich, P., & Lütjens, K. (2016). From passenger growth to aircraft movements. Journal of air transport management, 56, 99-106.

Balindervir Sekhon (balse618)
Christoffer Karlsson (chrka877)

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699716301636?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=885361e6d8c12e10 [Hämtad: 2024-05-17]

LFV. (2023). Det här är LFV.
<https://www.lfv.se/om-oss/dethararlfv> [Hämtad: 2024-03-07]

LFV. (u.d.). Om jobbet som flygledare.
<https://www.lfv.se/bli-flygledare/om-flygledarjobbet> [Hämtad: 2024-03-07]

Lundberg, T. 2022. Accessibility study for electric aviation.
<https://storymaps.arcgis.com/stories/3b35687163744e69a6966b5b9fad976e> [Hämtad: 2024-04-08]

Nordic Airport Coordination. (2024). Bromma Stockholm Airport.
<https://airportcoordination.com/se-bma-bromma/> [Hämtad: 2024-05-30]

Nordic Innovation. (2022). Accelerating the development of electric aviation in the Nordic countries. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1811595/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad: 2024-04-08]

Nordic Innovation. (2021). Business models for Nordic electric aviation.
<https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1718226/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad: 2024-04-08]

Nyman, R., & Claesson, S. (2022). Litteraturstudier i lärarutbildningen-att läsa, skriva och reflektera: Litterature review in Teacher Education-to read, write and reflect. [Hämtad: 2024-05-30]

Qiao, H., Zhang, J., Zhang, L., Li, Y., & Loft, S. (2022). Exploring the peak-end effects in air traffic controllers' mental workload ratings. *Human factors*, 64(8), 1292-1305. [Hämtad: 2024-05-20]

Radüntz, T., Mühlhausen, T., Freyer, M., Fürstenau, N., & Meffert, B. (2021). Cardiovascular biomarkers' inherent timescales in mental workload assessment during simulated air traffic control tasks. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 46, 43-59. [Hämtad: 2024-05-20]

Svenska Institutionen för Standarder. (u.d.). Validering och Verifiering.
<https://www.sis.se/standarder/validering-och-verifiering/> [Hämtad: 2024-04-16]

Swedavia. (2024). Statistik.
<https://www.swedavia.se/om-swedavia/statistik/> [Hämtad: 2024-05-16]

ZeroAvia. (2024). ZeroAvia.
<https://zeroavia.com/> [Hämtad: 2024-04-23]

Åkerlind, O., & Örtlund, H. (2011). *The ABZ of Flight Operations* [Hämtad: 2024-04-25]