



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 22007

Examensarbete 30 hp
Mars 2022

Miljökonsekvenser på flygplatser som uppkommer vid trafikering med elflygplan

Josefine Björnsdotter

Referat

Miljökonsekvenser på flygplatser som uppkommer vid trafikering med elflygplan

Josefine Björnsdotter

Världen är i en omställning för en hållbarare framtid och det inkluderar miljövänligare transporter. Elflygplan är under utveckling och de kan fylla ett syfte för att minska flygtrafikens miljöpåverkan. De elflygplan som förväntas vara i trafik först i Sverige har en passagerarkapacitet på cirka 19 personer och kan transporteras cirka 400 km. För att se vilken den totala påverkan elflygplan kan ha på miljön undersöktes de miljökonsekvenser som kan uppstå kring flygplatser. Studien begränsades till att analysera de luftföroreningar som uppstår i LTO-cykeln, vilket innefattar flygplanets rörelser på marken och upp till 915 m höjd i luften. De miljökonsekvenser som framförallt påverkas vid användandet av elflygplan är energiförbrukning och luftföroreningar. Vattenföroreningar och buller undersöktes också. Elförbrukningen kommer som väntat öka att vid användning av elflygplan och den ökar med antalet elflygplan i bruk. För att minska effekttoppar under laddning av flygplanen på flygplatser kan energilagring med batterier eller vätgas användas. Elflygplanen har inga emissioner av luftföroreningar och de kommer därför att minska. Desto fler elflygplan i trafik desto större minskning av luftföroreningar kommer ske. Bullerutbredningen kan tänkas minska vid starten med elflygplan medan högre bullernivåer kan förväntas vid landning då framförallt batterielektriska flygplan är tunga eftersom vikten av batterierna inte avtar med flygsträckan. För att elflygplan ska vara ett miljövänligare alternativ ur ett flygplatsperspektiv måste energin för att ladda flygplanet komma från hållbara källor. Den främsta skillnaden mellan batterielektriska flygplan och bränslecellsflygplan kommer att vara infrastrukturen som krävs på flygplatsen. Flygplan med bränsleceller och vätgas som drivmedel kommer även ha vattenånga som restprodukt vid användande medan batterielektriska plan har noll utsläpp till luften. Även ett ändrat resmönster är tänkbart där elflygplanen fyller ett transportsyfte från mindre flygplatser till större flygplatser för vidare resande. Detta skulle kunna minska persontransporter kring de större flygplatserna så som Arlanda. Då elflygplanen inte använder flygbränsle kommer även transporter av flygbränsle att minska.

Nyckelord: Elflygplan, miljökonsekvenser, flygplatser, elektrifiering

Institutionen för geovetenskaper, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala

Abstract

Environmental consequences at airports that arise with electric aircraft

Josefine Björnsdotter

The world is in a transition for a more sustainable future and that includes more environmentally friendly transport. Electric aircrafts are under development and they can fulfill a purpose to reduce the environmental impact from air traffic. The electric aircrafts that are expected to first be in use have a passenger capacity of 19 people and can fly 400 km. To gain an understanding of the total environmental impact of electric aircraft, the environmental consequences that may arise around airports were investigated. The study was limited to analyzing the air pollutants that occur in the LTO-cycle, which includes the aircraft's movements on the ground and up to 915 m altitude. The environmental consequences that are primarily affected by the use of electric aircraft are energy consumption and air pollution. Water and noise pollution were also analyzed. As expected, electric energy consumption will increase with the use of electric aircrafts and it increases with the number of electric aircraft in use. To reduce power peaks at airports that arise when charging, energy storage with batteries or hydrogen may be used. The electric aircraft have no emissions of air pollutants and the emissions around airports will therefore be reduced. The more electric aircrafts in traffic, the greater the reduction in air pollution will be. The noise distribution can be expected to decrease at take-off with electric aircrafts, while higher noise levels can be expected when landing, especially since battery-electric aircraft are heavy at landing because the weight of the batteries does not decrease with the flight distance. For electric aircraft to be a more environmentally friendly alternative from an airport perspective, the energy used to charge the aircraft must come from sustainable sources. The main difference between battery electric aircraft and fuel cell aircrafts will be the infrastructure required at the airport. Aircraft with fuel cells and hydrogen as fuel will also have water vapor as a residual product during flight, while battery-electric aircrafts have zero emissions to the air. A changed travel pattern is also conceivable, where the electric aircraft fulfill a transport alternative from smaller airports to larger airports for further travel. This could reduce passenger transports around the larger airports such as Arlanda. As the electric aircraft don't use aviation fuel, transports of aviation fuel will also be reduced.

Keywords: Electric aircraft, environmental consequences, airports, electrification

Department of Earth Sciences, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 hp och avslutar studier på civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Arbetet är utfört i samarbete med Naturvårdsverket och är en del av ett regeringsuppdrag där Naturvårdsverket ska analysera miljöeffekterna av elektrifieringen utav transporter.

Under examensarbetet har Lisa Johansson, Teknisk handläggare på Naturvårdsverket, varit handledare. Ämnesgranskare har varit Henrik Wachtmeister på Institutionen för geovetenskaper på Uppsala universitet.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Lisa för all vägledning samt Anna Lindberg och Lina Tengvar för att jag fått vara en del av Flyg- och hamngruppen under terminen. Jag vill även tacka Industrienheten på Naturvårdsverket för att jag fått vara en del av arbetet under hösten fått spännande insyn i Naturvårdsverkets arbete. Jag vill dessutom uttrycka min tacksamhet till Henrik som kommit med viktiga synpunkter och väglett mig i arbetet. Sen vill jag vill även tacka Marie Hankanen på Transportstyrelsen och Lena Wennberg och Johan Nilsson på Swedavia som har ställt upp på intervjuer och gett viktig insikt i utvecklingen av flygbranschen.

Josefine Björnsdotter
Uppsala, februari 2022

Copyright © Josefine Björnsdotter och Institutionen för geovetenskaper, Naturresurser och Hållbar utveckling, Uppsala universitet.

UPTEC W 22007, ISSN 1401-5765

Digitalt publicerad i DiVA, 2022, genom Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. (<http://www.diva-portal.org>)

Populärvetenskaplig sammanfattning

Den tekniska utvecklingen går fort framåt och efter att gatorna fyllts med elbilar är det nu dags för luftfarten att elektrifieras, allt i hopp om en hållbarare framtid. Elflygplan planeras att vara i luften i Sverige så snart som 2026 och för att få en bild över den totala miljöpåverkan måste miljökonsekvenserna på flygplatser som uppkommer på grund av elflygplan utvärderas. Flygtrafiken står för 2-3 % av världens fossila koldioxidutsläpp och utsläppen förväntas öka (UNEP 2021). De långsiktiga klimatmålen i Sverige är att de nationella utsläppen av växthusgaser ska vara nettonoll till år 2045 (Naturvårdsverket 2021a).

Syftet med den här studien har varit att utvärdera miljökonsekvenserna på olika flygplatser i Sverige som uppkommer på grund av användandet av elflygplan. De elflygplan som undersökts i studien är batterielektriska flygplan eller bränslecellsflygplan drivna med vätgas.

För att kunna undersöka miljökonsekvenserna från elflygplan studerades miljökonsekvenserna i dagsläget på fyra olika flygplatser i Sverige. De flygplatserna som valdes var Arlanda airport, Skellefteå Airport, Visby Airport och Kalmar Öland Airport. De valdes på grund av att de är av olika storlek, på olika geografiska platser i Sverige samt för dess lämplighet att kunna trafikera elflygplan. Under studien framkom det att de främsta miljökonsekvenserna runt en flygplats är energiförbrukning, buller, vattenföroreningar och luftföroreningar och dessa konsekvenser valdes att studeras närmre. Det finns flertalet aktiviteter på flygplatserna, förutom flygandet, som ger upphov till utsläpp av olika slag. Dessa aktiviteter kan vara avisningar av flygplan, halkbekämpning av rullbanor och transporter. Det finns dessutom ett antal lagkrav som måste uppfyllas för att få driva flygplatsverksamhet. Det finns krav för att säkertälla att flygtrafiken kan framföras på ett säkert sätt och för att minska påverkan på miljön.

För att kunna undersöka hur stor påverkan elflygplan har på miljökonsekvenserna runt en flygplats formulerades fyra olika scenarier. Dessa scenarier baserades på olika stora andelar av inrikestrafiken som skulle kunna ersättas med elflygplan. En tredjedel av inrikes trafiken är tekniskt möjligt att ersätta med elflygplan redan från start då de flyger på sträckor kortare än 400 km. Av denna tredjedel trafikerades 100 % med elflygplan i scenario 1. För scenario 2, 3 och 4 var andelen som trafikerades med elflygplan 60 %, 30 % respektive 10 %. Dessa scenarier användes sedan för att kvantifiera den påverkan elflygplanen kan ha på de fyra miljökonsekvenserna. Elflygplanens påverkan på miljökonsekvenser går att konstatera och de både blir till det bättre och sämre. En ökad elförbrukning är förväntad och den blir större desto fler elflygplan som är i trafik. För de stora flygplatserna så som Arlanda ger elförbrukningen mindre påverkan men för en mindre flygplats så som Visby kan den årliga elförbrukningen öka med så mycket som 55 %. Ett elflygplan har inga utsläpp av luftföroreningar under användningsfasen vilket innebär att de utsläpp som kommer från flygplan som kan ersättas med elflygplan kommer att försvinna.

Med tanke på att tekniken är så pass ny finns det stora osäkerheter och potentiella felkällor i studien. Begränsat med data finns tillgänglig kring elflygplan och vidare studier behövs för att få en klarare bild över miljökonsekvenserna från elflygplan. Däremot finns det mycket utvecklingspotential i branschen och de närmsta åren kommer troligen elflygets framtid att klarna och miljökonsekvenserna kan utvärderas vidare.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Inledning	1
1.2	Syfte och frågeställningar	1
1.3	Metod	2
1.3.1	Miljöbedömning	2
1.3.2	Litteraturstudie	2
1.3.3	Intervjuer	3
1.3.4	Avgränsningar	3
1.3.5	Scenarier	3
1.3.6	Analys	4
1.4	Disposition	4
2	Bakgrund	5
2.1	Inledning	5
2.2	Elflygplan	5
2.2.1	Batterielektriskt flygplan	5
2.2.2	Bränslecellsflygplan	7
2.2.3	Hybridmotorer	7
2.2.4	Elflygets möjligheter och användning	8
2.3	Miljö kvalitetsmål och miljö kvalitetsnormer	9
2.3.1	Luftföroreningar	9
2.3.2	Buller	10
2.3.3	Vattenföroreningar	12
2.4	Lagkrav på miljökonsekvenser kring flygplatser	13
3	Miljökonsekvenser på flygplatser idag	13
3.1	Flygplatsernas storlek	13
3.2	Energiförbrukning	14
3.3	Buller	15
3.4	Vattenföroreningar	16
3.4.1	Avisning av flygplan	17
3.4.2	Halkbekämning av landningsbanor	18
3.4.3	Brandövningar	18
3.4.4	Övrigt vatten	19
3.5	Luftföroreningar	19
3.5.1	Kväveoxider	20
3.5.2	Partiklar	21
3.5.3	Koldioxid	21
3.5.4	Flyktiga organiska ämnen	21
3.5.5	Vattenånga	22
3.5.6	Spridning av luftföroreningar i atmosfären	22
3.5.7	Drivmedel	22
3.5.8	Transporter	22

4	Miljökonsekvenser på flygplatser med kommersiellt elflyg	23
4.1	Scenarierna	23
4.2	Energiförbrukning	24
4.2.1	Energilagring	26
4.3	Buller	26
4.4	Vattenföroreningar	28
4.5	Luftföroreningar	29
4.6	Skillnader mellan bränslecells och batterielektriskt flygplan	32
5	Sammanställning ändring av miljökonsekvenser	33
6	Diskussion	34
7	Slutsats	36
A	Appendix	I
A.1	Intervjufrågor	I
A.1.1	Intervju med Lena Wennberg och John Nilsson på Swedavia	I
A.1.2	Intervju med Marie Hankanen på Transportstyrelsen	II
A.2	Beräkningar elförbrukning	III
A.3	Beräkningar luftföroreningar	V
A.3.1	Beräkningar med emissionsfaktorer	V
A.3.2	Beräkningar med IPCC faktorer	VII

Ordlista

CAEP	Teknisk kommitté inom ICAO som arbetar med framtagandet av policys och standarder som rör flygplansbuller och utsläpp samt generell miljöpåverkan kopplat till flygverksamhet.
ES-19	Elflygplan utvecklat av Heart Aerospace med plats för 19 passagerare och en räckvidd på 400 km. Används som typflygplan för beräkningar i rapporten.
FBN	Flygbullernivå.
ICAO	Internationella civila luftfartsorganisationen, ett organ inom FN. Har som uppgift att underlätta för flygtrafik mellan olika länder och bidra till ökad flygsäkerhet.
L_{eq}	Medelvärdesperiod för ljudtrycksnivåer.
L_{Amax}	Ett mått på den högsta tillåtna ljudnivån från ett enskilt flygande plan.
LTO-cykeln	Landning och take off. Avser start och landning av flygplan upp till och med 3000 ft, 915 m höjd över marken.
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning, det sammanlagda dokumentet som en miljöbedömning resulterar i.
RISE	Researche Institutes of Sweden. Svenskt statligt ägt forskningsinstitut som samverkar med näringsliv, universitet och samhälle för hållbar tillväxt och innovationsutveckling.
Rullbana	Start- och landningsbana för flygplan på flygplatser.

1 Introduktion

1.1 Inledning

Olika länders idag antagna klimatplaner och fastställda åtaganden kommer enligt FN:s miljöprogram leda till en global uppvärmning på 2,7 °C, förutsatt att de verkställs (UNEP 2021). Det är betydligt högre än de 1,5 °C som Parisavtalet siktar mot (Naturvårdsverket u.å.[a]). Enligt Sveriges långsiktiga klimatmål ska de nationella växthusgasutsläppen till atmosfären vara nettonoll år 2045 (Naturvårdsverket 2021a). Flygsektorn står för runt 2-3 % av de globala koldioxid utsläppen till atmosfären (Transportstyrelsen 2012a). Omställningen till ett miljövänligare resande är en viktig del för en hållbar framtid och för att uppnå miljömålen. År 2019 reste knappt 31 miljoner passagerare utomlands med flygplan från svenska flygplatser och knappt 7 miljoner passagerare reste inrikes (Trafikanalys 2020). Sedan introduktionen av kommersiella flygplan har antalet passagerare ökat stadigt och förväntas fortsätta öka framöver (ibid.). Idag är den totala klimatpåverkan från den svenska befolkningens flygresor lika stor som påverkan från hela den svenska personbilstrafiken (Naturvårdsverket 2021b). För att begränsa den globala uppvärmningen kommer lägre utsläpp från flygsektorn vara en viktig del i omställningen och där kan elflygplan fylla en plats. Med elflygplan menas i den här rapporten flygplan med fasta vingar som helt eller delvis drivs av elkraft. Det sker antingen med batterier eller bränsleceller som drivs av vätegas. Dagens flygplatser är byggda efter flygplan med huvudsakligen fossilt bränsle och viss anpassning skulle därför behöva ske för att kunna ta elflyg i bruk. Miljökonsekvenserna på och kring flygplatser behöver därmed utvärderas för att se den totala miljöpåverkan som en introduktion av elflygplan på marknaden kan innebära.

Detta projekt avsåg därmed att utvärdera olika miljökonsekvenser kring flygplatser som påverkas av omställningen till elflyg och utfördes i samarbete med industrienheten på Naturvårdsverket.

1.2 Syfte och frågeställningar

Projektet avsåg att utvärdera olika miljökonsekvenser kring flygplatser som en omställning till elflyg kan innebära. Syftet var även att i viss mån utvärdera om resenärers resmönster och olika transporter till och från flygplatser kommer att ändras och vad den ändringen har för miljökonsekvenser. Målet är att få en enhetlig bild av miljökonsekvenser på flygplatser vid användning av kommersiella elflyg och för att uppnå syftet ämnar projektet att besvara följande frågeställningar.

- Vilka är de främsta lokala miljökonsekvenserna som uppstår kring flygplatser på grund av användningen av elflyg?
- Är elflyg fördelaktigt ur ett lokalt miljöperspektiv jämfört med dagens flygplan vid studie av flygplatser?
- På vilket sätt skiljer sig miljökonsekvenserna från bränslecellsflygplan och batteri-drivna flygplan?
- Hur förändras resandet och transporter till och från flygplatser med kommersiella elflygplan i drift och hur påverkas miljökonsekvenserna till följd av de ändringarna?

1.3 Metod

För att besvara frågeställningen och uppnå syftet med projektet användes flera kompletterande metoder. Data och material insamlades via litteraturstudier och intervjuer vilket sedan användes i en scenarioanalys och samlad bedömning av miljökoneskvenser. Litteraturstudiens syfte var att finna relevanta miljökoneskvenser som kan uppstå vid användning av elflygplan eller förändras i omställningen från flygplan med traditionella bränslen till elflygplan. Dessa miljökoneskvenser utvärderades och analyserades sedan för att få en enhetlig bild av effekten att introducera elflygplan på marknaden.

1.3.1 Miljöbedömning

Analysen följde metoden för specifik miljöbedömning enligt 6 kap. miljöbalken där miljöeffekter analyseras från flera aspekter så som positiva och negativa effekter, om de är tillfälliga, bestående eller kumulativa. De effekter som ska analyseras baseras på om de påverkar miljön eller människors hälsa och utvärderades enligt händelsekedjan påverkan - effekt - konsekvens. Påverkan avser åtgärden i sig, här är det användningen av elflygplan, effekten är den förändring som uppkommer från påverkan vilken ska utvärderas och konsekvensen innebär betydelsen av denna förändring, det vill säga om åtgärden har en positiv eller negativ påverkan på miljön. I en miljöbedömning analyseras miljökoneskvenserna sedan på skalan stora negativa konsekvenser, måttliga negativa konsekvenser, små negativa konsekvenser eller inga konsekvenser (Miljödepartementet 1998). Eftersom en exakt uppskattning av konsekvenserna inte var möjlig så låg vikten vid om användning av kommersiella elflygplan kommer ändra befintliga konsekvenser på flygplatser och hur den ändringen ser ut. Skattningen är därför utförd med hänsyn till om konsekvenserna kommer att påverkas i positiv riktning, med andra ord ge en mindre negativ miljöpåverkan, vara ungefär densamma eller förändras i en negativ riktning.

1.3.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien bestod av vetenskapliga rapporter, miljörapporter från verksamhetutövare och annan relevant litteratur. Litteraturstudien började med att två miljökoneskvensbeskrivningar (MKB) analyserades för att finna de främsta miljökoneskvenserna flygplatser ger upphov till idag. MKB:erna erhöles från Naturvårdsverket, den ena var från Kalmar Öland Airport tillståndsansökan 2018 och den andra MKB:n var för Skellefteå Airport tillståndsansökan 2015. Tillståndsprövningar är allmänna handlingar och är tillgängliga för allmänheten. Fyra konsekvenser identifierades och för att finna tillämpliga vetenskapliga rapporter användes sökmotorerna Google Scholar och ScienceDirect för vidare studier av de valda konsekvenserna. De miljökoneskvenser som undersöktes var energiförbrukning, buller, vattenföroreningar och luftföroreningar. Sökord som användes var exempelvis: buller+elflyg, electric aeroplane, miljöpåverkan+flygplats, avisning flygplan, aviation noise+small planes, aircraft noise+airport+planes. Få relevanta vetenskapliga resultat erhöles från sökningarna och därför har flertalet alternativa källor använts i studien. Alternativa källor har varit bland andra myndigheters hemsidor så som Naturvårdsverket och Transportstyrelsen samt verksamhetsutövarers hemsidor. Årliga miljörapporter från flygplatserna användes dessutom för att se förbrukningen av resurser samt hur de specifika flygplatserna hanterar sin miljöpåverkan och de finns att tillgå på respektive flygplats hemsida. För att se de konsekvenser elflygplan kan ge upphov till och vilka möjligheter som finns för användandet studerades även litteratur kring flygplanen.

1.3.3 Intervjuer

Under projektets gång har två intervjuer genomförts. Intervjuerna hade kvalitativ utformning då karaktären var i tolkande betoning. Det är deltagarens perspektiv som är av intresse och intervjun följde semistrukturerad struktur där intervjufrågorna skickades i förväg till respektive intervjudeltagare (Jenny Åberg 2019). Intervjun följde sedan dessa frågor med relevanta följdfrågor vid behov. Den första intervjun genomfördes med Swedavias miljöchef Lena Wennberg och John Nilsson som är strategisk chef för utveckling av elektriska och vätgasdrivna flygplan på Swedavia. De intervjuades då de har stor insikt i flygplatsverksamheten och vad flygsektorns utveckling kan innebära för förändringar på flygplatser. Personerna intervjuades gemensamt och svarade på de frågor de hade mest kunskap inom. Den andra intervjun genomfördes med Marie Hankanen som arbetar som miljöexpert på Transportstyrelsen och är Sveriges representant i *Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP)* i FN organet *International Civil Aviation Organization (ICAO)*. Marie har övergripande insyn i flygsektorns utveckling i Europa och har jobbat med buller kopplat till flygplatser. Grundfrågorna från intervjuerna finns att se i Appendix A.1. Svaren från intervjuerna antecknades för att användas som kunskapsunderlag i studien.

1.3.4 Avgränsningar

Projektet avgränsades till att undersöka lokala miljökonsekvenser som kan uppstå på och kring flygplatser. Området kring flygplatser avser den geografiska yta som flygplatsens verksamhet påverkar i form av exempelvis buller och luftföroreningar och ej flygets totala färdsträcka. Det inkluderar flygets påverkan under landning och take-off inom luftrummet upp till 3 000 ft (cirka 915 m) närmast flygplatsen även kallat LTO-cykeln. Aktiviteterna som ingår i LTO-cykeln är som följer; uppställning och taxning ut till start från terminal, start och stigning samt inflygning, landning och taxning till uppställningsplatta (Naturvårdsverket 2008). Flygplatsens övriga verksamhet så som terminaler, transporter, underhållningsfordon och underhåll inom verksamheten samt förutsättningar för att flygverksamheten ska kunna utföras effektivt och säkert ingår även i studien. Det inkluderar aktiviteter så som banunderhåll, avisning av flygplan och transport av passagerare. Projektet avgränsades även till att enbart undersöka flygplatser som är A-tillståndspliktiga vilket innebär att mindre flygplatser, med rullbana kortare än 1200 m inte har studerats. Dessa mindre flygplatser skulle kunna vara aktuella att trafikeras med elflygplan då de mindre elflygplanen klarar av att flygas med en kortare rullbana. De flygplatser som valdes ut att studeras var intressanta på grund av deras läge och lämplighet att kunna trafikera elflyg. De valda flygplatserna var Stockholm Arlanda Airport, Skellefteå Airport, Visby Airport och Kalmar Öland Airport. Flygplatserna är av varierande storlek och på olika geografiska platser i Sverige och anses kunna representera de flesta flygplatser som är tillståndspliktiga A-verksamheter i Sverige.

1.3.5 Scenarier

I projektet har fyra olika scenarier för användning av elflygplan utformats. Detta gjordes för att kunna kvantifiera miljökonsekvenserna från elflygplan beroende på hur stort antal elflygplan som tas i trafik. Scenarierna baseras på olika stora andelar utav den inrikes flygtrafiken som idag är tekniskt möjligt att trafikera med elflygplan, vilket anses vara en tredjedel av inrikestrafiken (Swedavia Airports u.å.[a]). Med tekniskt möjligt menas den energikapacitet batterier eller vätgas har för att kunna driva ett flygplan av en viss storlek en viss sträcka med den säkerhet som krävs. Av delen som är tekniskt möjligt att trafikera har de

fyra scenarierna utformats där 100 %, 60 %, 30 % respektive 10 % av den möjliga trafiken kommer att trafikeras med elflygplan. Dessa scenarier har använts i beräkningar för de olika miljökonsekvenserna för att kunna se en möjlig påverkan elflygplan kan ha beroende på hur mycket av flygtrafiken som kommer att trafikeras med elflygplan. Scenarierna baseras även på ett typflygplan för att kunna beräkna storleken på konsekvenserna. Typflygplanet är baserat på ett elflygplan som är under utveckling av det svenska företaget Heart Aerospace kallat ES-19. Flygplanet är batterielektriskt, traditionellt utformat med fyra propellrar på vingarna och har en flygsträcka på 400 km för 19 passagerare när reservkraften är inkluderat (Heart Aerospace u.å.). För flygplanet rekommenderas en laddningseffekt på 1 MW för att kunna ladda och en full laddning tar då cirka 40 minuter (ibid.).

1.3.6 Analys

Resultaten analyserades framförallt i jämförelse med rådande förhållanden. Covid-19 pandemin har påverkat flygtrafikens omfattning i stor utsträckning under 2020 och på grund av det har 2019 använts som basår vid jämförelse mellan de olika flygplatserna (Transportföretagen 2021). Den data som har använts vid jämförelse är årlig elförbrukning och utsläpp av luftföroreningar. En trolig förbrukning eller minskning av respektive miljökonsekvens beräknades för respektive scenario för att sedan jämföras mot den årliga förbrukningen och på så sätt få en procentuell förändring.

För att analysera den mängd luftföroreningar som försvinner vid användandet av elflygplan utvärderades två beräkningsmetoder. En metod utgick från att använda emissionsfaktorer som gavs för flygbränsle i enheten vikt per energi. Den energi som krävs för att ladda elflygplanen översattes direkt till energi i flygbränslet och på så sätt fås minskningen av luftföroreningar för de flygplan som ersätts med elflygplan. Emissionsfaktorerna är hämtade från naturvårdsverkets hemsida och faktorerna för LTO-cykeln användes (Naturvårdsverket u.å.[b]). Det fanns ingen emissionsfaktor för koldioxid att tillgå, så på grund av det användes energiinnehållet i flygfotogeten och ett förväntat utsläpp vid förbränning för att beräkna minskningen. En annan metod för att beräkna luftutsläpp var att använda utsläpp i vikt per LTO given av IPCC (Kristin Rypdal u.å.).

För miljökonsekvensen buller användes enbart litteraturstudien som analysmetod där andra projekt har simulerat och utvärderat förväntade bullernivåer från olika sorters elflygplan.

1.4 Disposition

Rapporten är disponerad enligt följande. Kapitel 1 innehåller en introduktion, syfte och frågeställningar samt beskrivning av projektets metod. I kapitel 2 finns en inledande bakgrund till olika sorters elflygplan och dess möjligheter, en allmän beskrivning av miljö kvalitetsnormer, buller, vattenföroreningar samt vilka lagkrav som finns för flygplatser. Avsnittet är en del av litteraturstudien för att få en kunskapsbas för vidare läsning. I kapitel 3 redovisas miljökonsekvenser på flygplatserna idag utifrån litteraturstudie och intervjuer. Kapitlet innehåller beskrivningar av vilka aktiviteter som ger upphov till utsläpp och vilka konsekvenser dessa utsläpp får. I kapitel 4 redovisas resultat från analysen av möjliga förändringar för miljökonsekvenserna ur ett perspektiv där elflygplan finns i trafik. Avsnittet fokuserar på de förändringar som uppstår vid trafikering med elflygplan och utgår från de fyra scenarierna. En analys mellan bränslecellsflygplan och batterielektriska flygplan går

även att finna i kapitlet. I kapitel 5 sammanställs ändringen av miljökonsekvenserna för att få en överblick över elflygplanens miljöpåverkan. Kapitel 6 innehåller diskussion av rapportens resultat och rapporten avslutas med kapitel 7 slutsats där frågeställningarna besvaras. Sist i rapporten finns Appendix med översikt över alla beräkningar och intervjufrågor.

2 Bakgrund

2.1 Inledning

I Sverige finns det idag flera olika organisationer och projekt som aktivt jobbar för att realisera användandet av kommersiellt elflyg inom en snar framtid. Projekt så som ELISE, Elektrisk Lufttransport i Sverige, är ett samarbete för att föra aktörer så som myndigheter, flygplatser och flygbolag samman (Alsne 2020). Fossilfritt flyg 2045 är ett initiativ finansierat av Energimyndigheten och är ett samarbete startat av RISE, Swedavia och SAS under 2018 för att skapa en plattform för att uppnå fossilfritt flygande till år 2045 (Fossilfritt Sverige u.å.). Trafikanalys har på uppdrag av regeringen tagit fram ett kunskapsunderlag och analyserat elflygets möjligheter (Trafikanalys 2020).

2.2 Elflygplan

Med elflygplan räknas i den här rapporten flygplan med fasta vingar som helt eller delvis drivs framåt av elektricitet. Elflygplan delas in i fyra underkategorier: batterielektriskt, bränslecell, parallelhybrid och seriehybrid. Elektriciteten som driver flygplansmotorerna kommer därmed antingen från batterier eller bränsleceller drivna med vätgas (ibid.). Dessa metoder kan kombineras för att få fram helt elektriska eller hybrid-elektriska flygplan. Studien kommer röra framförallt batterielektriska- och bränslecellsflygplan och miljökonsekvenserna som uppkommer från dessa då studien riktar sig mot helelektriska flygplan. De hybrid-elektriska flygplanen kan vara en möjlighet för att minska flygets miljöpåverkan men anses inte vara en lika stor förändring mot dagens flygplan som de helelektriska. Förutom att flygplanen elektrifieras är även utformningen på flygplan under utveckling och testning. Antal propellrar på flygplanen, dess placering och storlek samt flygplanskroppens utformning studeras för att optimera flygplanens konstruktion och lyftkraft. Flygplanens utformning kan ha olika stor påverkan på miljön beroende på effektivitet, antal passagerare, vikt och flertalet andra parametrar som diskuteras vidare.

2.2.1 Batterielektriskt flygplan

I ett batterielektriskt flygplan drivs motorerna helt eller delvis av batterier. Batterierna laddas upp på marken innan avresa och ska driva flyget från start till landning vilket även inkluderar reservkraft vid nödlägen. De tekniska utmaningarna som finns idag med batterielektriska flygplan begränsar framförallt räckvidden och antalet passagerare per resa. De flygplan som förväntas komma ut på marknaden först har en räckvidd på cirka 400 km med plats för 19 passagerare (Heart Aerospace u.å.). Elmotorer har färre rörliga delar än förbränningsmotorer vilket inte bara gör dem säkrare, då det är färre delar som kan gå sönder, de är även mer driftsäkra och billigare att underhålla (Trafikanalys 2020). Begränsningarna i räckvidd och passagerare beror framförallt på batteriernas kapacitet och utformning. Batterier lagrar kemisk energi som sedan omvandlas till elektricitet vid urladdning och det finns flera olika sorters batterier. Litium-jon batterier är vanliga i elbilar

som finns ute på marknaden idag och är populära på grund av dess energitäthet (Elias Dahl 2020). Energitätheten beskriver hur mycket energi ett batteri kan lagra per enhet, exempelvis volym eller vikt, och kan beräknas på cell- eller packnivå. Battericellerna sätts ihop till batteripack för att ha tillräckligt mycket energi för att kunna driva större fordon. Energitätheten på cellnivå i de batterier som existerar idag ligger på 240–270 Wh/kg. På packnivå blir energitätheten ungefär hälften av den på cellnivå i batterierna på grund av de material som krävs för utformningen. Detta kan jämföras med flygfotogeten där energitätheten ligger på cirka 3 700 Wh/kg även när motorns verkningsgrad tas med i beräkning (Trafikanalys 2020). Andra viktiga aspekter att ha i åtanke vid batteridrift av flygplan är batteriets urladdningshastighet, hur många urladdningscykler ett batteri klarar av och hur mycket av energin i ett batteri som kan nyttjas vid varje cykel (Elias Dahl 2020). Ett batteri i ett elflygplan förväntas klara mellan 1000 - 3000 cykler innan det behöver bytas ut (Heart Aerospace u.å.). Dessa parametrar är viktiga att ha i åtanke ur framförallt ett kostnads- och miljöperspektiv. Det gäller både vid batteritillverkning och vid återanvändning eller återvinning av batterierna för att kunna nyttja materialen till största möjliga mån och minska batteriernas miljöpåverkan.

Förutom begränsningen i räckvidd har elektriskt drivna flygplan dessutom en lägre flyghastighet än flygplan drivna med flygbränsle (Trafikanalys 2020). Det innebär att om det hade varit tekniskt möjligt att flyga längre sträckor hade flygtiden påverkat resan i större utsträckning. För att användandet av elflyg ska vara ett gångbart resealternativ måste resetiden hemifrån till slutdestinationen inklusive flygtid, transport till och från flygplatsen, säkerhetskontroll och liknande, vara rimlig och konkurrensmässig mot andra transportsätt. Det innebär att de sträckor där elflyg kommer vara effektivast för användning är där det är tidsmässigt, lika mycket som miljömässigt och ekonomiskt, rimligast att flyga. Det kan vara sträckor över kuperad eller svåråtkomlig terräng, över öppet vatten eller mellan olika länder.

Ur ett flygplatsperspektiv kommer vissa ändringar i infrastrukturen krävas för att kunna ha möjligheten att trafikera kommersiella elflygplan. För att ladda flygplanen mellan flygningarna krävs att flygplatserna har anpassade laddstationer med rätt sorts kontakter som gör att uppladdningen sker inom en rimlig tidsram. En estimerad kostnad för en laddstation ligger kring 4,6 Mkr men infrastrukturen för laddning av elflygplan bör kunna kombineras med laddstationer för flygplatsens övriga markfordon och på så sätt kan investeringskostnaden spridas till flera användningsområden (Heart Aerospace u.å.). Tekniken för att ladda elflygplan är lik den som finns för att ladda andra fordon som bilar, bussar och lastbilar drivna på el (Trafikanalys 2020). En aspekt som skiljer sig är kontakten för laddning, vilken är under utveckling. Kontakten ska kunna hantera laddning av tillräcklig kraft och hastighet men även den informationsöverföring som är nödvändig för flygtrafik (ibid.). Kontakten bör även ha en internationell standard så att möjligheten att ladda elflygplanen finns på alla flygplatser med laddstation. Som en del av arbetet jobbar CAEP och ICAO med certifieringar och standarder och enligt Hankanen¹ har en internationell standard på laddkontakt för elflygplan inte diskuterats i CAEP då tekniken inte är mogen nog än.

De mindre elflygplanen som antas komma ut på marknaden först förväntas att enbart att kräva en rullbana på 750 m, det innebär att även mindre flygplatser kommer vara möjliga att använda för trafikering med elflygplan (Heart Aerospace u.å.). Det kan jämföras mot de

¹Marie Hankanen, sakkunnig miljö, Transportstyrelsen, intervju 2021-10-29

flesta kommersiella flygplatserna i Sverige som har en rullbana på över 1200 m. Kravet på en kortare rullbana kan möjliggöra en annan typ av resande som annars skulle ha skett med ett annat transportalternativ. Det förutsätter dock att elflyget är konkurrenskraftigt ur både ett ekonomiskt och tidsmässigt perspektiv för resenären i jämförelse med andra transportmedel. Elflygplanen kommer troligen öka i storlek i framtiden och kommer då att kräva en längre rullbana.

2.2.2 Bränslecellsflygplan

Elektriciteten till elmotorerna i ett flygplan kan även komma från en bränslecell som drivs med vätgas. Bränslecellen fungerar likt ett batteri men istället för att laddas upp innan start genereras elen med hjälp av kemisk energi från vätgas och den genererar energi så länge vätgas och syre finns tillgängligt. Det enda utsläppet från en bränslecell är vattenånga, vilket är mycket renare än avgasutsläppen från förbränning med fossila flygbränslen (Trafikanalys 2020). Även om vattenånga är renare har det en klimatpåverkan, det gäller framförallt vid utsläpp på hög höjd. Effekten är beroende av lufttempertur, flyghöjd och luftfuktighet vilket leder till stor variation av effekten men klimatteffekten uppskattas att vara dubbelt så hög vid förbränning på hög höjd som vid förbränning på marknivå. (Naturvårdsverket u.å.[c]). Vätgas förekommer inte naturligt på jorden utan det behöver tillverkas för att kunna nyttjas och tillverkningen kan ske genom tre olika metoder. Elektrolys, som är en metod där el används för att spjälka upp vatten i väte och syre och på så sätt få fram vätgas. Natur- eller biogas kan användas för att reformeras under höga temperaturer i en reaktor alternativt kan vätgas tillverkas genom förgasning av kolhaltigt material under högt tryck. Vätgas har lågt energiinnehåll i förhållande till sin volym och tar exempelvis upp till fyra gånger så stor volym som traditionellt flygbränsle med samma energiinnehåll (Trafikanalys 2020). Bränslecellen har hög verkningsgrad vilket kan kompensera för energiförlusten som sker vid tillverkning av vätgas (Vätgas Sverige u.å.). De stora volymerna som krävs vid användning av vätgas i elflygplan gör att både lagring av vätgas på flygplatser och förvaring på flygplanen blir ett problem att lösa. Produktionen och distributionen av vätgas behöver även ske på ett hållbart sätt för att vätgas ska vara miljömässigt fördelaktigt att användas som drivmedel.

Tekniken för att driva elflygplan med vätgas är inte lika välutvecklad som den för batterielektriska flygplan och en introduktion på marknaden ligger längre fram i tiden. Drivkraften i utvecklingen av vätgasanvändning ligger framförallt hos andra sektorer så som stål- och betongindustrin (Trafikanalys 2020).

2.2.3 Hybridmotorer

Det finns även möjligheter att driva flygplan med hybrider av motorer med förbränning och elektricitet. I parallellhybrider driver en elmotor och en förbränningsmotor propellrarna var för sig eller tillsammans. Effekten går direkt från motorerna till framdrivningen av flygplanet då de är mekaniskt ihopkopplade (ibid.). Vid seriehybridflygplan drivs propellrarna med en eller flera elmotorer där elen kommer från bränsleceller eller batterier men även från en generator driven av en förbränningsmotor. Förbränningsmotorn har då ingen mekanisk inkoppling med drivsystemet till propellrarna utan genererar enbart elektricitet till elmotorn. Parallellhybriden är därmed beroende av ett batteri för att driva elmotorn medan generatoren i seriehybriden kan leverera all el som behövs från förbränningsmotorn om så önskas. Användandet av hybridmotorer kan möjliggöra miljövänligare flygningar då elmotorn kan

användas vid flygning på konstant höjd och hastighet medan den extra kraften som behövs vid start och landning kan komma från förbränningsmotorn (Trafikanalys 2020). Batterier kan även utgöra reservkraften för flygningen och då kan mängden bränsle som behöver fraktas minimeras. På hybridflygplanen behöver vikten av batterier och motorer bäras hela flygsträckan medan bränslets vikt vid användning av förbränningsmotorer kommer att minska med tiden. En annan viktig skillnad är att vid användning av hybridmotorer tillkommer en komplexitet som annars hade försvunnit vid helt elektriska flygplan och underhållningskostnaden kan därmed öka (ibid.).

2.2.4 Elflygets möjligheter och användning

Batterielektriska flygplan med den flygsträcka och passagerarkapacitet som utvecklas idag beräknas kunna ersätta runt en tredjedel av alla inrikes flygsträckor i Sverige och ungefär hälften av alla inrikes flygsträckor i Norge och förväntas vara i trafik år 2026 (Swedavia Airports u.å.[a]). Elflyget kommer därmed redan från start kunna ersätta en stor del av inrikesflyget men även öka tillgängligheten mellan länderna i närområdet. Enligt BRA:s hållbarhetschef i en intervju för Ekonomibyrån är en trolig prognos att användningen av batterielektriska flygplan kommer vara störst på kortare sträckor medan nyttjandet av vätgasflygplan kommer att ske på medellånga flygningar i framtiden. De längre flygningarna kommer troligen att ske med biobränslen för att minska flygets miljöpåverkan (SVT 2021). Ett möjligt resmönster hos passagerarna är att elflyget används för att transportera sig från mindre lokala flygplatser till större flygplatser för vidare resande och det kan då ersätta exempelvis bil eller buss som transportmedel till flygplatsen. För att kunna ersätta denna typ av resande är det därmed viktigt att det är enkelt att flyga med elflygplan och att den totala transporttiden blir kort nog så att det är fördelaktigt ur ett resenärperspektiv enligt Wennberg² och Nilsson³. Det skulle öka tillgängligheten i framförallt mer glesbefolkade områden så som Norrlands inland där avstånden till de större flygplatserna är längre, alternativa transportmedel har lång resetid och kollektivtrafiken kan vara begränsad. På de sträckor där tågtrafik är lättillgänglig är behovet av elflygplan inte lika stort.

Trafikanalys (2020) har i sin rapport om elflyg gjort en jämförelse mellan olika trafikslag och dess restid mellan ett antal orter. Exempelvis har sträckan Sveg - Stockholm undersökts där elflyget, inklusive marktransport till och från flygplats, skulle ta cirka 180 minuter medan samma sträcka med bil hade tagit cirka 320 minuter att resa vilket kan jämföras med 430 minuter vid resa med kollektivtrafik. Resor till grannländerna kan likväl förenklas vid användning av elflyg. Att flyga elflygplan mellan Arlanda och Åbo skulle innebära en total restid på cirka 210 minuter vilket kan jämföras med 560 minuter för att resa samma sträcka med bil (ingen kollektivtrafik trafikerar sträckan). Vid samma jämförelse kan en tidsbesparing på 280 minuter ske om elflyg används som transportmedel istället för kollektivtrafik mellan Arlanda och Oslo. Det kan därmed finnas stor tidsmässig vinning i att använda elflyg som resmedel vid jämförelse med markbundna trafikslag. I dessa prognoser har 100 minuter adderats till flygtiden för att inkludera marktransporter till och från flygplatsen (Trafikanalys 2020).

²Lena Wennberg, miljöchef, Swedavia, intervju 2021-10-11

³John Nilsson, strategisk chef för utveckling av elektriska och vätgasdrivna flygplan, Swedavia, intervju 2021-10-11

2.3 Miljökvalitetsmål och miljökvalitetsnormer

Miljöarbetet rör fler sektorer än bara flygsektorn och är ett heltäckande arbete i Sverige. Som en del för att driva miljöarbetet framåt har Sverige därmed antagit 16 miljökvalitetsmål där det övergripande syftet är att lösa de stora miljöproblemen utan att det belastar miljön utanför Sveriges gränser. För att bestämma vad god miljö utgör i Sverige har målen preciseringar och är utgångspunkten för olika styrmedel och hela landets miljöarbete (Sveriges miljömål 2020). Miljömålen är således ett riktmärke och påverkar flygsektorns utveckling för en hållbar framtid och innehåller ett flertal värden att förhålla sig till.

2.3.1 Luftföroreningar

Ett av miljökvalitetsmålen är *Frisk luft* vilket syftar till att minska de luftföroreningar som har påverkan på människors hälsa och på miljön. Flygsektorn bidrar till luftföroreningar vid flygning med förbränningsflygplan, flygplatsverksamhet och transporter till och från flygplatserna. Miljömålet innehåller specifika preciseringar för luftföroreningarnas koncentration i luften och koncentrationerna varierar beroende på medelvärdesperiod. Preciseringarna för de föroreningar av intresse på flygplatser är som följer och målet är att de ej ska överskridas.

Kvävedioxid	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelvärde 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmedelvärde
PM ₁₀	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dygnsmedelvärde 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelvärde
PM _{2,5}	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dygnsmedelvärde 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelvärde
Marknära ozon	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ åttatimmarsmedelvärde 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ timmedelvärde
Bensen	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ årsmedelvärde

Preciseringarna specificerar luftkoncentrationer av föroreningarna över olika medelvärdesperioder beroende på vad som mäts och beräknas (Sveriges Miljömål 2018). Utöver miljömålen finns även lagstadgade krav på luftkvaliteten kallat miljökvalitetsnormer. Dessa normer finns som gränsvärdesnormer, vilka *ska följas*, och målsättningsnormer vilka ska *eftersträvas* att följas (Naturvårdsverket u.å.[d]). Miljökvalitetsnormerna för de luftföroreningar av intresse för flygplatser går att se i tabell 1.

Tabell 1: Miljökvalitetsnormer för luftföroreningar och antal tillåtna överskridningar. Normerna är alla gränsvärdesnormer med undantag för ozon som är en målsättningsnorm. Värdena är tagna ur Luftkvalitetsförordning SFS 2010:477 (Miljödepartementet 2010). Medelvärdesperiod anger över vilket tidsspänn medelvärdet för koncentrationen ska beräknas och vilket MKN värde som gäller för det tidsspänn.

Miljökvalitetsnormer för luft			
<i>Förorening</i>	<i>Medelvärdesperiod</i>	<i>MKN-värde</i>	<i>Antal tillåtna överskridanden per kalender år</i>
NO ₂	Timme	90 µg/m ³	175 h
	Dygn	60 µg/m ³	7 dygn
	År	40 µg/m ³	-
PM ₁₀	Dygn	50 µg/m ³	35 dygn
	År	40 µg/m ³	-
PM _{2.5}	År	25 µg/m ³	-
Bensen	År	5 µg/m ³	-
Bly	År	0,5 µg/m ³	-
Ozon	8 timmar	120 µg/m ³	-

Normerna för luftkvalitet gäller inte specifikt inom ett verksamhetsområde utan de ska uppfyllas i luften generellt. Det är kommunernas ansvar att kontrollera luftkvaliteten och kontrollen av luftkvaliteten sker i form av mätning, modellering eller objektiv skattning beroende på luftkvalitetssituationen. Verksamheter kan däremot vara en källa till luftföroreningar och de bör därför vara delaktiga i arbetet för att uppnå normerna för bättre luftkvalitet. De är även ansvariga att vidta åtgärder i de fall de orsakar överskridanden av miljökvalitetsnormerna. Om normerna överskrids vid mätning eller modellering kan ett åtgärdsprogram behöva upprättas för att åtgärda problemet och uppnå normen (Naturvårdsverket u.å.[d]).

2.3.2 Buller

Buller är ljud, ofta i form av en oavsiktlig biprodukt från exempelvis verksamheter, utrustningar och konstruktioner. Det kan vara ljud från fläktar, mekaniska verktyg, bullrande industrier, bilar, fartyg, flygplan och dylikt. Människan är biologiskt anpassad till en i princip bullerfri miljö och buller bedöms därmed som ett viktigt miljöproblem (Nationalencyklopedin u.å.[a]). Buller påverkar människan i form av bland annat hörselskador, sömnstörningar, inlärnings- och prestationssvårigheter och förhöjd risk för hjärt- och kärlsjukdomar (Basner et al. 2014). Områden med hårdgjorda ytor och lite ljuddämpande material är särskilt i risk för höga bullernivåer. Till följd av flygets utveckling har jetbuller blivit ett allt större problem och stora insatser i forskningen kring jetbuller har gjorts. De processer som framförallt studeras är bulleralstring och bullerspridning (Nationalencyklopedin u.å.[a]). Beroende på väder- och vindförhållanden kommer spridningen av buller från källan att skilja sig. Vid medvind och inversion kommer ljudet att böjas nedåt och bli högre vid marknivå och beroende på om marken absorberar ljudet eller inte kan det spridas långt. Vid motvind från källan böjs ljudvågorna uppåt och ljudnivån i markhöjd vid en viss distans från källan kan bli lägre, såkallad skuggning (Nationalencyklopedin u.å.[b]). Beroende på om det finns byggnationer runt ljudkällan och beroende på markens hårdhet påverkas ljudet dämpande eller reflekterande. Objekt hindrar ljudet från att spridas, till exempel

bullerplank, och mjukare mark gör att mindre ljud reflekteras på grund av lägre akustisk impedans. Impedans beskriver hur mycket rörelse en ljudvåg skapar i ett material, vid större skillnad mellan materialen kommer ljudet att reflekteras vilket innebär att hårdare mark reflekterar mer buller och leder till högre ljudnivåer. Vattenytan reflekterar ljudvågor och över öppet vatten sprider sig ljud bra och kan färdas långa sträckor (Nationalencyklopedin u.å.[b]).

Buller mäts i ljudtrycksnivå över ett referensvärde, vanligen är referensvärdet gränsen för hörbart ljud för människor i normalt lufttryck, vilket är 20 μPa . Ljudtrycksnivån mäts i decibelskala vilket är en logaritmisk skala. Det innebär att en dubbling av ljudkällor innebär 3 dB höjning i ljudtrycksnivå. En höjning på 10 dB upplevs av människor som en fördubbling av ljudet (Basner et al. 2014). Riktvärden för ljudnivåer anges ofta över medelvärdesperioder L_{eq} och med en vägning med A-filter, och en medelvärdesperiod kan vara exempelvis 8h. A-filter innebär att ljudet mäts anpassat efter den mänskliga hörselns känslighet, det vill säga de frekvenser som människan hör bäst, vilket rör sig inom ett spann mellan 2000-5000 Hz. Det resulterar i att lågfrekventa ljud har ett svagt bidrag till decibelskalan (ibid.).

Addering av bullerkällor kan vara relativt komplicerat. Beroende på om ljudet från källorna är i fas med varandra eller inte kommer ljudet antingen förstärkas eller försvagas i olika grad. Om ljudkällorna är helt okorrelerade, beräknas ljudtrycksnivån enligt ekvation 1, där p_{ref} är tidigare nämnt referensvärde och \tilde{p}_i^2 står för källans effektivvärde. Ekvationen visar även på att i de fall källorna är lika starka och okorrelerade blir ljudtrycksnivån $L_{tot} = 10 \log(2) \approx 3 \text{ dB}$ (Nilsson et al. 2005).

$$L_{tot} = 10 \log \left(\frac{\tilde{p}_1^2 + \tilde{p}_2^2}{p_{ref}^2} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Effektivvärdet används eftersom ljud är vågor och ett medelvärde på ljudtrycket över tid annars skulle bli noll. Effektivvärdet beräknas enligt ekvation 2 där p står för källans ljudtryck och värdet mäts i pascal.

$$\tilde{p} = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} p^2(t) dt} \quad \text{Pa} \quad (2)$$

Sambandet mellan effektivvärdet och decibelskalan ges av ekvation 3.

$$\tilde{p} = p_{ref} 10^{L_p/20} \text{ Pa} \Leftrightarrow L_p = 20 \log \frac{\tilde{p}}{p_{ref}} \text{ dB} \quad (3)$$

Ekvationerna är hämtade ur Grundläggande akustik av Nilsson et al. (2005). Flygplatsverksamhet är en källa till buller, både från flygtrafiken och från markverksamheten. Det finns olika riktvärden för buller från flygtrafik och markverksamhet och riktvärdena på ljudnivåer för flygtrafikbuller kan ses i tabell 2.

Tabell 2: Riktvärden för flygtrafikbuller vid olika områden. Riktvärdena utgörs av flygbullernivå (FBN) samt maximal ljudnivå (L_{Amax}). Värderna anser frifältsvärden mätta med tidsvägning ”slow” (Naturvårdsverket 2021c).

Riktvärden för flygtrafikbuller		
Områdestyp	FBN [dBA]	L_{Amax} [dBA]
Vid bostadsbyggnads fasad	55	70
Utomhus i rekreations- och friluftsområden	40	-
Utomhus vid undervisningslokaler	55	70
Utomhus vid vårdlokaler	55	70

L_{Amax} för flygtrafikbuller är ett mått på den högsta ljudnivån från ett enskilt flygande plan (Transportstyrelsen, Forsvarsmakten & Naturvårdsverket 2011). Buller som kommer från flygplatsens verksamhet, markbuller, bedöms som industri- och verksamhetsbuller vilket har andra riktvärden än flygbuller som bör följas och dessa värden kan ses i tabell 3.

Tabell 3: Riktvärden för markbuller vid olika områden. Buller från flygplatsens marknära verksamhet bedöms som industri- och verksamhetsbuller (Naturvårdsverket 2015).

Riktvärden för industri- och verksamhetsbuller					
Områdestyp	L_{eq} dag (06-18)	L_{eq} kväll (18-22)	L_{eq} natt (22-06)	L_{eq} lör, sön och helgdag (06-18)	L_{Amax}
Vid bostäder, skolor, förskolor och vårdlokaler	50 dBA	45 dBA	40 dBA	45 dBA	55 dBA
Utomhus i rekreations- och friluftsområden	40 dBA	35 dBA	35 dBA	35 dBA	55 dBA

Bullernivåerna kring flygplatser är en miljökonsekvens som analyseras i tillståndsansökningen för flygplatsens verksamhet. Eftersom buller har påverkan på framförallt människors hälsa behövs flygvägar, stigningsprofiler och hur stor bulleralstring flygplan ger upphov till tas i hänsyn innan tillstånd för verksamheten kan ges.

2.3.3 Vattenföroreningar

Det finns även miljö kvalitetsnormer för vatten vilket omfattar grundvatten och ytvatten. Grundvatten och ytvatten inkluderar sjöar, vattendrag och kustvatten. Syftet med miljö kvalitetsnormerna är för att säkra Sveriges vattenkvalitet. Normerna utgår ifrån en statusklassning, hur ser det ut i vattendraget idag, åtgärdsbehov, vad behöver göras för att säkra vattenkvaliten och miljö kvalitetsnormen anger vilken status vattendraget ska ha uppnått och till vilken tidpunkt det ska uppnås (Vattenmyndigheterna u.å.[a]). Den totala vattenstatusen klassificeras efter ekologisk och kemisk status. För ekologisk status finns fem klasser: hög, god, måttlig, otillfredsställande och dålig. För kemisk status finns endast två, god eller uppnår ej god (Vattenmyndigheterna u.å.[b]). Den lägsta tillåtna nivån på vattenkvaliten sätts av normen och en verksamhet får därmed inte påverka vattenförekomsten så att statusen försämras under normnivån eller riskerar möjligheten att normen inte uppfylls. Normerna används vid tillståndsprövningar och vid tillsyn av bland annat miljöfarliga verksamheter, där flygplatser är inkluderade. Om normerna inte uppfylls uppför

Vattenmyndigheterna ett åtgärdsprogram vilket kan sluta med att kommunerna ställer krav på enskilda verksamhetsutövare för att minska på utsläppen. För att överhuvudtaget få tillstånd för verksamheten måste verksamhetsutövaren även visa på att verksamheten inte orsakar utsläpp som gör att en miljökvalitetsnorm överskrids eller äventyrar möjligheten att normen uppnås. Beslut som rör en miljökvalitetsnorm satt av vattendelegationen går inte att överklaga, utan det är en föreskrift och ska enligt lag följas (Vattenmyndigheterna u.å.[a]).

2.4 Lagkrav på miljökonsekvenser kring flygplatser

Verksamhet på och kring flygplatser har vanligen betydande miljöpåverkan och påverkan sker framförallt på näromgivningen. Flygplatsverksamhet räknas därför som miljöfarlig verksamhet och för att få driva flygplatsverksamhet i Sverige krävs tillstånd enligt 9 kap. 1 § Miljöbalken (SFS 1998:808) (MB) (Miljödepartementet 1998). Civila flygplatser med rullbana över 1200 m är tillståndspliktig enligt 24 kap. 3 § Miljöprövningsförordningen (SFS 2013:251) (MPF) med tillståndsplikt A. Tillståndsplikt B gäller för flottilflygplats eller civila flygplatser med militär infrastruktur och rullbana över 1200 m. Flygplatser för motordrivna luftfartyg med kortare rullbana än 1200 m men med fler än 500 flygrörelser per kalenderår har anmälningsplikt C enligt 24 kap. 3 § MPF. Tillståndsplikt A innebär att mark- och miljödomstolen prövar ärendet och Miljöprövningsdelegationen prövar ärenden med tillståndsplikt B enligt 1 kap. 6 § MPF (Miljödepartementet 2013). Dessa lagkrav mynnar ut i att en specifik miljöbedömning ska göras enligt 6 kap. 20 § 2p. MB. Miljöbedömningen följer ett antal steg så som en undersökning om betydande miljöpåverkan kan antas, hålla samråd och utforma en miljökonsekvensbeskrivning.

Miljökonsekvensbeskrivningen ska innehålla uppgifter om verksamhetens lokalisering, utformning och omfattning samt alternativa lösningar för dessa. Rådande miljöförhållanden ska tas i beaktning vid miljöbedömningen och hur de förhållanden förväntas utvecklas utan verksamhetens påverkan, så kallat nollalternativ. Miljöeffekter som verksamheten kan tänkas medföra ska vara både beskrivna och bedömda samt vilka åtgärder som planeras för att avhjälpa eller motverka negativa miljöeffekter. Miljökonsekvensbeskrivningen ska även innehålla en icke teknisk sammanfattning (Naturvårdsverket u.å.[e]). Miljökonsekvenser på flygplatser måste därmed enligt lag utredas och det är därför viktigt att utvärdera hur elflygplan kommer att påverka miljön kring flygplatser.

3 Miljökonsekvenser på flygplatser idag

3.1 Flygplatsernas storlek

För att kunna jämföra utsläppen och få en bild över flygplatsernas storlek och trafik användes antal LTO-cykler och antal flygplansrörelser per år, vilka kan ses i tabell 4. Flygrörelse kan innebära enbart start eller landning och kan även inkludera militärflyg och helikopter medan LTO är hela cykeln för ett flygplan. LTO-cyklerna används då ett elflygplan behöver laddas en gång per cykel för att kunna vara i trafik. På grund av den rådande Covid-19 pandemin under år 2020 valdes enbart 2019 som referensår för antal LTO då flygandet under 2020 minskade kraftigt vilket även kan ses i tabell 4. Andelen av LTO:erna som flyger inrikes är hämtad från Transportstyrelsens hemsida för flygplatsstatistik och är sedan beräknad för respektive LTO.

Tabell 4: Antal flygrörelser och LTO-cykler på fyra flygplatser i Sverige under åren 2019 och 2020 samt andelen av flygningarna som sker inrikes för år 2019.

Antal flygrörelser och LTO på de fyra flygplatserna					
År	2020		2019		Andel inrikes
	LTO	Flygrörelser	LTO	Flygrörelser	
Arlanda	43 039 ^a	86 085 ^a	116 445 ^b	232 895 ^b	25,0 % ⁱ
Skellefteå	896 ^c	1 781 ^c	1 928 ^c	3 843 ^d	71,0 % ⁱ
Visby	5 369 ^e	10 738 ^e	8 381 ^f	16 763 ^f	55,8 % ⁱ
Kalmar	3 518 ^g	7 036 ^g	6 382 ^h	12 764 ^h	32,5 % ⁱ

Not: data är från (Swedavia AB 2021a)^a, (Swedavia AB 2020a)^b, (Skellefteå Airport 2021)^c, (Skellefteå Airport 2020)^d, (Swedavia AB 2021b)^e, (Swedavia AB 2020b)^f, (Kalmar Öland Airport AB 2021)^g, (Kalmar Öland Airport AB 2020)^h och (Transportstyrelsen 2022)ⁱ

3.2 Energiförbrukning

Flygplatsverksamheten förbrukar energi i form av uppvärmning och nedkylning av lokaler, verksamhet så som restauranger och affärer och annan drift av elektronik på terminalerna. Fordon för markunderhåll, flygplansunderhåll och transporter inom flygplatsen förbrukar även energi och kan förbruka el. För att utvärdera flygplatsernas energiförbrukning användes miljörapporter från respektive flygplats och en sammanställning av den årliga elförbrukningen kan ses i tabell 5. Åren representerade är mellan 2020-2016 för de åren värden fanns tillgängliga. Ett medelvärde av elförbrukningen beräknades även över de tillgängliga åren, detta medelvärde har sedan använts i beräkningar.

Tabell 5: Elanvändningen på fyra flygplatser i Sverige av intresse för användning av elflyg skrivet i megawattimmar (MWh) för åren 2020-2016 där data fanns tillgänglig. Ett medelvärde av den årliga förbrukningen är uträknat längst till höger.

Elanvändning flygplatser MWh						
År	2020	2019	2018	2017	2016	Medelvärde
Arlanda	108 727 ^a	135 939 ^a	133 016 ^a	129 274 ^a	131 273 ^a	127 646
Skellefteå	1 313 ^b	1 476 ^b	1 551 ^c			1 447
Visby	2 268 ^d	1 908 ^d	1 847 ^d	2 114 ^d	2 377 ^d	2 103
Kalmar	1 628 ^e	1 358 ^f	1 559 ^g			1 515

Not: data är från (Swedavia AB 2021a)^a, (Skellefteå Airport 2021)^b, (Skellefteå Airport 2020)^c, (Swedavia AB 2020b)^d, (Kalmar Öland Airport AB 2021)^e, (Kalmar Öland Airport AB 2020)^f och (Kalmar Öland Airport AB 2019)^g

På Stockholm Arlanda Airport upphandlas elen med ursprungsgarantier för enbart förnybara källor så som sol, vind, vatten och biobränslen. Det innebär att kostnaden för den el som förbrukas investeras i förnybara källor. Kylning av lokaler sker från ett akviferlager samt med vatten från Halmsjön och uppvärmningen av lokalerna sker med fjärrvärme. Trots att majoriteten av uppvärmningen sker med fjärrvärme finns det dock en del oljepannor kvar där bioolja och fossil olja används som bränsle (Swedavia AB 2020a). Knappt hälften av elanvändningen på Arlanda flygplats är från Swedavias verksamhet. Resterande el förbrukas av övriga verksamhetsutövare på flygplatsen (Swedavia AB 2021a).

Skellefteå Airport har en årlig elförbrukning på runt 1400 MWh. Flygplatsen har idag infrastruktur för laddning av elbilar i form av laddstolpar för passagerare (Skellefteå Airport 2021). Denna infrastruktur skulle även kunna möjliggöra utbyggnation för laddning av elflygplan om effekten finns tillgänglig.

På Visby flygplats går fordonsflottan på antingen på el, HVO eller fossilfri gas. Uppvärmningen av lokaler sker idag med olja och el och även banbelysning och landningshjälpmedel går på el. Det finns ett pågående arbete för att ersätta det fossila bränslet som används för stations- och driftsbyggnader på Visby flygplats med miljövänligare alternativ (Swedavia Airports u.å.[b]). Det finns även laddare för att kunna ladda elbil för passagerare på flygplatsens parkering (Swedavia AB 2020b).

Kalmar Öland Airport har en solcellsanläggning monterad på flygplatsen vilket producerar el till verksamheten. Elen som produceras på solcellsanläggningen motsvarar cirka 1 % av årsförbrukningen (Kalmar Öland Airport AB 2020).

3.3 Buller

Buller från flygplatser är en miljökonsekvens som har en negativ påverkan på människors hälsa. Om mängden flygtrafik kommer att öka är det sannolikt att även bullernivåerna kring flygplatserna kommer att öka. En risk med ökat buller från flygplatser är införande av restriktioner på flygverksamheten, vilket är problematiskt på framförallt sträckor där inget annat realistiskt resealternativ finns (Transportstyrelsen 2021). Buller från flygverksamhet upplevs överlag som mer störande än väg- eller spårtrafikbuller vid samma ljudtrycksnivåer enligt miljömedicinska studier. I Sverige exponeras cirka 19 000 människor för flygbuller över riktvärdet 55 dBA FBN medan drygt 1 % av befolkningen, vilket motsvarar cirka 100 000 personer, upplever sig störda av flygbuller (Naturvårdsverket u.å.[f]). Risken för att uppleva sig störd av flygplansbuller uppkommer därmed även under riktvärdet för flygbullernivån.

Upplevt obehag är den vanligaste effekten av buller vilket kan leda till humörförändringar, trötthet och stress. Vid höga störningsnivåer kan det leda till en sämre livskvalitet hos individer. Enligt Basner et al. (2014) har det i medicinska studier, över både korta och långa tidsperioder, påvisats att buller kan påverka hjärt- och kärlsystemet negativt. Det kan leda till sjukdomar så som högt blodtryck, stroke och ischemisk hjärtsjukdom. Det beror på att buller påverkar det autonoma nervsystemet och det endokrina systemet. Även blodtrycket och hjärtfrekvensen hos människor påverkas av buller och det kan utlösa stresshormoner i kroppen. Studien visar även på att risken för att drabbas av hälsoeffekter, så som hjärt- och kärlsjukdomar, ökade med 7-17 % för varje 10 dB höjning av L_{Aeq} bullernivåer från flyg- och vägtrafik. Dessa resultat är korrigerade för faktorer så som ålder, kön, rökning och socioekonomisk status (Basner et al. 2014). Det är därmed viktigt att beräkna förväntade bullernivåer kring flygplatser, vilket görs årligen i flygplatsernas miljörapporter, för att få fram förväntade hälsoeffekter och kunna införa tillräckliga skyddsåtgärder.

För att beräkna förväntade bullernivåer kring flygplatser finns en standard som antogs i Sverige år 2010. Standarden landade i ett kvalitetsäkringsdokument för att maximera standardiseringen av flygbullerberäkningar genom fastställande av en beräkningsmetod. Detta gjordes för att enskilda tekniska överväganden ska vara av mindre vikt (Transportstyrelsen 2013a). Standarden är internationell och finns i sin helhet i metoddokumentet

ECAC doc29 3rd edition (Transportstyrelsen, Försvarsmakten & Naturvårdsverket 2011). Ett arbete pågår just nu med att uppdatera det svenska kvalitetssäkringsdokumentet för att anpassa det till *ECAC doc29 4th edition*. Det nya dokumentet kommer inte ge några större skillnader i metod för att beräkna flygbullernivåer enligt Johansson⁴ och det kommer inte påverka beräkningarna för elflyget då bullret från elflygplan kommer att beräknas med den nya standarden efter att de har certifierats.

Vid beräkning av flygbullernivåer grupperas olika flygplanstyper för sig för att förenkla beräkningarna. Initialt analyseras den aktuella eller den förväntade trafikmängden med hänsyn till ett förhållande mellan avstånd, gaspådrag och buller samt flygplanstyp. Flygplansmodellerna grupperas efter flygplan med liknande bullernivåer och beräkningarna utgår från kända bullerdata med hjälp av en modell. Sedan bestäms antalet flygplanstypsgrupper och representativ bullerdata tas fram för respektive grupp (ibid.). Elmotorer i exempelvis bilar har lägre bullernivåer än traditionella förbränningsmotorer för bilar (Transportstyrelsen 2013b). Det kan därmed antas att elflygplan kommer ha lägre bullernivåer än flygplan med förbränningsmotorer och att de kommer utgöra en egen grupp vid flygbullerberäkningar. Buller uppstår däremot inte bara från motorljudet enligt Hankanen⁵ utan även från turbulensen av luft kring flygplanskroppen, vilket uppstår främst vid start och landning, inom LTO-cykeln, samt från eventuella propellrar på flygplanen.

Transporterna inom flygplatsområdet samt till och från flygplatsen av passagerare och varor ger även upphov till buller. Flygbränsle måste transporteras till flygplatserna för att kunna tanka flygplanen vilket sker med lastbilar (Kalmar Öland Airport AB 2018). Om mindre mängd flygbränsle används med elflygplan i trafik kommer även antalet transporter av bränsle minska och ge upphov till mindre mängd buller. Om resmönstret ändras hos passagerarna, om elflyg används som transportmedel från mindre flygplatser till större för vidare resande, kan det tänkas att viss bullerminskning från persontransporter kommer att ske kring vissa flygplatser och det kan då öka vid andra.

Stigprofilen på flygplanen har påverkan på bullernivån och stigprofilen påverkas av flygplanens utformning och vikt. Ett tyngre flygplan kommer ha flackare stigprofil och ge högre bullernivåer på markhöjd under längre tid än om planet stiger brantare. Hur lång sträcka planet ska flyga påverkar också, desto längre sträcka flygplanet ska flyga desto mer bränsle krävs det. Detsamma gäller för elflygplanen, ju längre de ska flyga desto fler batterier kommer att krävas och flygplanet blir därmed tyngre (Synodinos, A, Self, RH & Martinez, AJ 2017).

3.4 Vattenföroreningar

Flygplatser har ett flertalet aktiviteter som ger upphov till utsläpp i vatten. Flygplatsterminalerna har avloppsvatten från terminalverksamheten, utsläpp kommer från underhåll av flygplan och rullbanor för att säkerställa säkerheten och från ytavrinning av hårdgjorda ytor. Det vatten som kan komma att påverkas av användningen av elflygplan kommer framförallt från ytavrinningen på rullbanor och flygplanens uppställningsplatser. Mycket av vattnet som rinner av de hårdlagda ytorna på flygplatsens område samlas upp och renas i innan det släpps ut i naturen. Beroende på flygplats tas dagvattnet om hand på olika sätt. Arlanda

⁴Lisa Johansson, teknisk handläggare, Naturvårdsverket, möte 2021-12-13

⁵Marie Hankanen, sakkunnig miljö, Transportstyrelsen, intervju 2021-10-29

leder delar av sitt dagvatten till reningsverk för rening. De främsta aktiviteterna som ger upphov till föroreningar i vatten är listade nedan.

3.4.1 Avisning av flygplan

För att säkert kunna framföra flygplan ska de vara fria från is, snö och rimfrost innan start. Vid förhållanden som kan ge upphov till is på flygplanet vid taxning eller start ska planet besprutas med vätska som gör att det inte blir någon isbildning (Transportstyrelsen 2012b). Detta sker i olika steg och med olika viskositet på avisningsvätskan beroende på användning. En mer trögflytande vätska används innan flygning som sedan blåser av planet när det kommer upp i hastighet. I luften har flygplanen inbyggd teknik för att förhindra isbildning vilken kan vara i form av uppvärmning med hjälp av el, värme som alstras från motorerna eller genom besprutning av sprit. När flygplanen certifieras finns det kriterier för att uppfylla de aerodynamiska egenskaperna som krävs och för att uppfylla dessa kriterier ska flygplanen avisas på rätt sätt (ibid.). Avisningen är därmed nödvändig för att flygplanen ska kunna framföras säkert. Flygplan avisas generellt med propylenglykol och glykol i olika koncentration (Swedavia Airports u.å.[c]). Propylenglykol har liknande egenskaper som glykol men är mindre giftigt (Nationalencyklopedin u.å.[c]). Vid förtäring oxideras glykol i organismen till bland annat oxalsyra vilket är giftigt och kan ge njurskador. Förgiftning orsakat av glykol kan även ge upphov till funktionssvikt i lever, hjärta och lungor (Nationalencyklopedin u.å.[d]). Koncentrationen av glykol i utsläppen från flygplatser är däremot sällan så höga att de är toxiska utan den huvudsakliga miljökonsekvensen som uppstår är att de är syreförbrukande i nedbrytningsprocessen när de släpps ut i recipienten.

Det finns flera sätt att minska miljöpåverkan från avisningen av flygplan. SAS har tagit hjälp av ett IT-verktyg för att bättre beräkna när behovet av avisning finns och på så sätt använda mindre mängd avisningsvätska. Verktöget beräknar hur mycket vätska som behöver användas beroende på hur länge ämnena är aktiva, vilket påverkas av meteorologiska förhållanden som nederbörd, temperatur och molnighet (Chapman 2020). Propylenglykol som släpps ut i naturen kan brytas ner med både aerob och anaerob nedbrytning. Den snabbare processen är aerobnedbrytning vilket sker av mikroorganismer. Denna process är syreförbrukande och kan leda till syrefattiga vatten- och markmiljöer. Slutprodukten i processen är koldioxid och vatten och processen påverkas av förekomsten av mikroorganismer, temperatur, uppehållstid av vatten, metallförekomster och tillgänglighet på syre (Erik Forsberg 2014). Propylenglykol är nedbrytbar i naturen och är därmed miljövänligare men nedbrytningsprocessen ger upphov till negativa miljöeffekter i form av syrefattiga miljöer.

Den glykol som används vid avisning av flygplan avleds från stationsplattan och ner i speciella uppsamlingsbehållare eller suggs upp med uppsamlingsfordon (ibid.). Glykolen tas sedan om hand för att inte släppas ut i miljön. Mängden glykol som används på de olika flygplatserna varierar och är beroende av bland annat klimatet på platsen. Glykolförorenad snö samlas generellt upp från hårdgjorda ytor innan smältning sker för att inte hamna i dagvattnet och på så sätt minska utsläppen. Förutom glykol brukar även bland annat kadmium, aluminium, klorider och BOD7 detekteras i vattnet (Kalmar Öland Airport AB 2021). En handlingsplan för att minska utsläppen av kadmium från Arlanda flygplats finns då det har varit höga halter i vattendrag kring flygplatsen (Swedavia AB 2021a). Utsläppen kommer från metaller på flygplanen och från avgaserna.

3.4.2 Halkbekämning av landningsbanor

Det finns lagstadgade krav på att verksamhetsutövaren på flygplatser ska halkbekämpa landningsbanor för att uppnå en viss friktiongrad vid specifik hastighet på flygplanen. Kraven går att finna i Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om drift av godkänd flygplats (TSFS 2019:19). Föreskriften anger bland annat att nederbörd, jord, sand, olja och andra beläggningar ska avlägsnas från rullbanorna så snabbt som möjligt för att minska risken för ansamlingar och på så sätt äventyra säkerheten. Tillräcklig säkerhet behöver därmed uppnås för att få driva flygplatsverksamhet (Transportstyrelsen 2019a).

Rullbanor halkbekämpas främst mekaniskt med plogning, sopning, blåsning och sandning. De kan även halkbekämpas med kaliumacetat (formiat) och urea vid svåra väderförhållanden av flygsäkerhetsskäl (Swedavia Airports u.å.[c]). Urea, vilket är $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, innehåller cirka 46 % kväve och den urea som används bedöms hamna i dag- och dräneringsvatten. Det kan leda till ökad kvävebelastning och eutrofiering i närliggande vattendrag och marker (Kalmar Öland Airport AB 2021). På Visby flygplats samlas dagvattnet in de perioder på året som avisningsvätskor används och det dagvatten som innehåller kväve används för bevattning (Swedavia AB 2020b). På Kalmar flygplats används i snitt 13 ton urea per år men det kan uppgå till så mycket som cirka 45 ton urea på ett år om vädret kräver det (Kalmar Öland Airport AB 2021). Formiat används även för att halkbekämpa landningsbanor (Skellefteå Airport 2020). Formiat är salter av metansyra och används ofta i form av natriumformiat och kaliumformiat, det sistnämnda används även som ett miljövänligare vägsalt (Swedavia AB 2020a). Halkbekämpningsmedel kan ha negativ effekt på flygplanen i form av korrosion.

3.4.3 Brandövningar

Flygplatser är även en plats som brukar användas som övningplats för att släcka bränder. Under 2019 skedde 47 brandövningar på Skellefteå flygplats och det vanligaste släckmedlet som används är vatten. Filmbildande skum är det släckmedel som är effektivast för att släcka bränder i flygplan men det är dyrt och används sällan vid övningar. När kemiskt släckmedel används är det detergentskum som brukar användas vilket innehåller tensider, alkohol, lösningsmedel och konserveringsmedel. Vissa av tensiderna är svårnedbrytbara i miljön. Det filmbildande skummet innehåller flourtensider som kan vara toxiska i vattenmiljöer (Skellefteå Airport 2020).

När elflygplan tas i drift kommer det även behöva finnas beredskap för att hantera bränder i batterier. Det gäller även om batterilagring kommer att användas kring flygplatser. För släckning av litiumjonbatterier lämpar sig vatten bra, både för att släcka branden och för att kyla batterierna. Vid större batterier, så som i elbilar, batterilager och även elflygplan, kan det vara svårt att komma åt de material som brinner. Förutom materialet batterierna är byggda av bildas även en exoterm reaktion där den kemisk lagrade energin leder till termisk rusning. Batterierna innehåller ofta metalloxider som vid brand eller kraftig inre kortslutning frigör syre och branden kan bli intensiv och pågå länge. Det innebär att inte enbart lågorna behöver släckas utan att batterierna även behöver kylas ner för att branden inte ska återuppstå (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2018). Då stora mängder vatten krävs för att släcka den här typen av bränder finns det en risk att dimensioneringen av dagvattensystemen inte är anpassade för att ta hand om släckvattnet. Detta vatten bör renas innan det når naturmiljön då risken är stor att det innehåller flertalet miljötoxiska ämnen.

Filmbildande brandskum innehåller ofta flourtensider som är miljöfarliga. Flourtensider är högflourerande ämnen och kallas vanligen för samlingsnamnet PFAS (Kemikalieinspektionen, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap & Naturvårdsverket 2016). Tensider är ytaktiva ämnen vilket gör att släckvatten som innehåller PFAS lättare når grundvatten och särskilt höga halter av PFAS i grundvatten hittas vid brandövningsplatser så som flygplatser. Ämnena är extremt svåra att bryta ner i miljön och de restprodukter som bildas vid nedbrytandet är likväl svårnedbrytbara. I enskilda fall har halterna av PFAS i dricksvatten varit så höga att vattenverk eller brunnar har tagits ur bruk (ibid.). Flygplatser som är närbelägna städer kan därmed utgöra ett hot för tillgången på dricksvatten. Då vatten idag är det vanligaste släckmedlet för bränder på flygplatser kommer föroreningarna av PFAS i mark och vatten framförallt från tidigare utsläpp i mark och vatten (ibid.).

3.4.4 Övrigt vatten

På Arlanda finns ett spillvattennät som tar upp vatten från terminaler, verkstäder, hangarer, glykolanläggning samt två reningsanläggningar. Spillvattnet leds till ett reningverk innan det släpps ut. I vattnet som inkommit till reningverket finns halter av kadmium, bly, koppar, krom, nickel och zink samt klorider (Swedavia AB 2020a). Flygplatser ger även upphov till vanligt avloppsvatten från toaletter och dylikt från terminalbyggnaderna. Innehållet i det vattnet är inget som troligen kommer att ändras vid användning av elflygplan. Beroende på om antalet resenärer kommer att ändras kan volymerna av avloppsvatten påverkas.

Oljeföroreningar hamnar även i dagvattnet och tas om hand med hjälp av oljeavskiljare. Under 2020 tömdes exempelvis cirka 223 ton oljeföroreningar med en blandning av olja, vatten, grus och slam bort från dagvattnet på Arlanda. Det var betydligt mer än för år 2019 då det enbart var 37 ton (Swedavia AB 2021a). Vilket är intressant då antalet passagerare var betydligt lägre år 2020. Olyckor kan även ge upphov till utsläpp av vattenföroreningar. Föroreningarna kan komma från flygplan eller fordon på flygplatsen och är generellt i form av olja eller bränsle. Bränslespill kan komma från trasiga ventiler eller övertankningar (Swedavia AB 2020a).

3.5 Luftföroreningar

Luftföroreningar är en av de miljökonsekvenser som uppstår vid användandet av flygplan. Luftföroreningar är som följd av antropogen verksamhet ett gasformigt eller partikelbundet ämne som kan ge negativ inverkan miljön eller människor och som förekommer i förhöjda halter i atmosfären (Nationalencyklopedin u.å.[e]). Luftföroreningar kring flygplatser kommer inte enbart från flygtrafiken utan även från exempelvis markverksamheten, transporter inom samt till och från flygplatsområdet och vid uppvärmning av lokaler. De viktigaste luftföroreningarna att studera som släpps ut kring flygplatser relaterade till människors hälsa är partiklar (PM), kväveoxider (NO_x) och flyktiga organiska ämnen (VOC) (European Environment Agency, European Union Aviation Safety & Eurocontrol 2019). Andra luftföroreningar relaterade till flygtrafiken är koldioxid (CO_2), vattenånga (H_2O) och svaveloxider (SO_x) och de är framförallt skadliga för miljön (ibid.). Hur dessa luftföroreningar uppkommer och vad de har för effekter på människors hälsa och miljön förklaras för att få en bild av relevansen att minska dessa utsläpp.

3.5.1 Kväveoxider

Kväveoxider skapas när kväve och syre reagerar under höga temperaturer (Naturvårdsverket 2019). Utsläpp av NO_x till luften kommer därmed framförallt från förbränning av fossila bränslen under hög värme så som i ett flygplans jetmotor. I atmosfären oxiderar NO till NO_2 och de högsta koncentrationerna av NO_x är i form av NO_2 (European Environment Agency, European Union Aviation Safety & Eurocontrol 2019). NO_2 har negativa effekter på både människors hälsa och miljön genom att bidra till försurning och eutrofiering men även genom att tillsammans med VOC och UV-strålning forma marknära ozon (Naturvårdsverket 2019). Människors hälsa påverkas huvudsakligen genom respirationssystemet och astmatiker och barn är framförallt känsliga mot högre koncentrationer i luften (Banverket u.å.). Vid exponering av högre koncentrationer av NO_2 under längre tid riskerar människor för att öka känsligheten att drabbas av respirationssjukdomar och utveckling av astma (US EPA 2016).

Negativ eutrofiering är när det tillförs så mycket näringsämnen till mark eller vatten att ekosystemets förmåga att tillgodogöra sig näringen överskrids. Detta leder till bland annat algblooming av giftiga cyanobakterier och igenväxta sjöar. Försurning i kombination av kvävemättnad i mark leder till näringsförflyttning och ökad urlakning av markerna och påverkar därmed ekosystemen (Nationalencyklopedin u.å.[f]). Kväve- och svaveloxider bidrar till försurning av sjöar, hav och mark och har varit ett problem i Sverige då de svenska jordarna generellt har låg koncentration av karbonater som kan neutralisera surt nedfall. Nedfallet sker i form av våtdeposition med regnet eller torrdeposition då föroreningen når marken i gas- eller partikelform. Det kan leda till att växter har svårt att ta upp näring genom rötterna och kan livskvaliteten hos arter som mört, laxfiskar, snäckor, musslor och kräftdjur som är känsliga mot lägre pH halter. Vid försurning ökar även halten aluminium i mark och vatten som är skadligt för djurlivet (Nationalencyklopedin u.å.[g]).

Marknära ozon bildas som nämnt vid solinstrålning i förorenade luftmassor och reaktionen är starkt väderberoende. Det är framförallt under varma somrar som höga halter ozon bildas och halterna för MKN överskrids främst i södra Sverige. I WHO:s Air Quality Guidelines är den nya rekommenderade halten för ozon $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per åttatimmarsmedelvärde på grund av flera epidemiologiska studier som visade samband mellan hälsoeffekter och exponering för ozon även på kort sikt. Dessa effekter uppkommer även under MKN-värdet på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ och hälsoeffekten leder till dagliga dödsfall och sjukhusinläggningar (Naturvårdsverket 2019). Marknära ozon är även den luftförorening som är skadligast för växter inom svenskt jordbruk på grund av skördebortfall, skador på blad samt minskad tillväxt. Ozonet minskar även skogens förmåga att ta upp koldioxid från luften samt hämmar dess tillväxt och det orsakar därmed både ekonomiska och miljörelaterade problem (ibid.).

NO_2 är det näst största utsläppet av luftföroreningar från flygplan inom LTO-cykeln. NO_2 är relativt kortlivat i atmosfären och beroende på vilken reaktion som studeras uppehåller sig molekylerna mellan 3.5-16 timmar (SMHI u.å.). Så trots att NO_2 är kortlivat har utsläppen allvarliga konsekvenser på både människors hälsa och miljön och det är viktigt att minska utsläppen.

3.5.2 Partiklar

Halter av partiklar i luften brukar generellt delas in i två kategorier PM_{10} och $PM_{2.5}$ baserat på partikelns storlek. $PM_{2.5}$ är partiklar med en aerodynamisk diameter mindre än 2.5 μm och motsvarande är PM_{10} partiklar med en aerodynamisk diameter mindre 10 μm . Koncentrationen $PM_{2.5}$ ingår därmed även vid mätning av PM_{10} halter. Partiklar har både naturliga och antropogena källor, ökensand och havsalt är exempelvis naturliga källor medan partiklar som uppstår från bromsar på bilar eller av slitage från dubbdäck mot asfalt är antropogena källor. De mindre partiklarna kommer från framförallt förbränningsprocesser och finns i avgaserna från flygplan. Partiklarna påverkar människors hälsa genom att de andas in och kan nå längst ner i lungorna där de passerar över i blodet och vidare ut till resten av kroppens organ. Hjärt- och kärlsjukdomar hör till de vanligaste hälsoeffekterna kopplat till partiklar och de beräknas bidra till förkortad livslängd i Sverige (Karolinska Institutet 2021).

3.5.3 Koldioxid

Koldioxid är en växthusgas som bidrar till den globala uppvärmningen och dagens koncentration ligger på över 400 ppm. CO_2 absorberar infraröd strålning från jorden och bidrar därmed till värmeökningen (Nationalencyklopedin u.å.[h]). Flygindustrin står idag för runt 2-3 % av de globala antropogena utsläppen av CO_2 och är en bidragande faktor till klimatförändringarna. Uppehållstiden för CO_2 kan variera mellan hundra eller tusentals år vilket gör att det ackumuleras i atmosfären (European Environment Agency, European Union Aviation Safety & Eurocontrol 2019).

Enligt European Aviation Environmental Report 2019 förväntas utsläppen av koldioxid från flygtrafiken i världen att öka med 21 % till år 2040. Det kan jämföras med att det skett en ökning av koldioxidutsläpp från flygtrafiken på 16 % mellan 2005 och 2017. Koldioxid är procentuellt den största luftföroreningen som släpps från flygtrafiken (ibid.). En ökning av koldioxidutsläppen är inte förenligt med gällande klimatmål.

3.5.4 Flyktiga organiska ämnen

Flyktiga organiska ämnen eller *volatile organic compounds* (VOC) är kolföreningar som släpps ut bland annat vid ofullständig förbränning i motorer. De flesta ämnen är lätta kolväten med låg kokpunkt som lätt övergår i gasform och bildar luftföroreningar. Ett flertal av ämnena är hälsofarliga, så som bensen vilket är cancerframkallande, men de kan även bidra till bildandet av marknära ozon (Nationalencyklopedin u.å.[i]). Bensen är även mycket giftigt för människor och det bildar fenol genom biologiska processer vilket ger upphov till ämnets toxiska egenskaper. Förutom bensen cancerogena effekter kan det även ge leukemi och benmärgsskador vid kronisk exponering (Nationalencyklopedin u.å.[j]). De ämnen som brukar gå att finna kring flygplatser är, förutom bensen, toluen, n-nonan, n-oktan, meta/paraxylen, ortoxylen samt butylacetat och etylbensen (Swedavia AB 2020a).

3.5.5 Vattenånga

En stor del av avgaserna från flygplan är i form av vattenånga. Kondensstrimmor bildas bakom jetmotorerna när de varma avgaserna blandas med kall luft och då bildas ispartiklar (Transportstyrelsen 2013c). Uppehållstiden på ispartiklarna är beroende på de atmosfäriska förhållanden vid utsläppsplatsen. Beroende på luftens fuktighet kan ispartiklarna snabbt avdunsta eller uppehålla sig i flera timmar och kan vid fuktig luft ta upp vatten och växa sig större. Kondensstrimmorna som bildas kan ha klimatpåverkan precis som naturligt skapade moln. Utsläppen från flygen kan även orsaka en ökad uppkomst av höga cirrusmoln och vid speciella förhållanden kan kondensstrimlorna även utvecklas till cirrusmoln. Delvis genom utsläpp av vattenånga men avgaserna ändrar även atmosfärens sammansättning och kan göra förhållandena mer gynnsamma för molnbildning. Konsekvenserna av utsläppen är därmed beroende på var de släpps ut och vissa effekter kan hindras genom planering av flygväg både i höjd- och sidled (ibid.). Eftersom cirrusmoln bildas på hög höjd, i Sverige vanligen mellan 5 och 13 km höjd, är det inte en aspekt att ha i beaktning vid studie av flygplatsernas lokala miljöpåverkan (SMHI 2021).

3.5.6 Spridning av luftföroreningar i atmosfären

Luftföroreningarnas spridning i atmosfären är beroende av ett antal faktorer. Föroreningens uppehållstid i atmosfären avgör hur långt de kan spridas med luftmassor. Atmosfärens skiktning däremot begränsar hur luftmassan rör sig och varierar över de olika säsongerna. Under vinterhalvåret är inversion vanligare, då är det en varmare luftmassa på högre höjd som stoppar kallare luft närmare marken från att stiga och föra med sig luftföroreningar och sprida ut dem. Vid inversion kan speciellt höga halter av föroreningar mätas och problem kan öka lokalt vid de tillfällena (Nationalencyklopedin u.å.[e]). Eftersom luftföroreningar rör sig långa sträckor med vinden kommer de alltid vara ett internationellt problem att lösa.

3.5.7 Drivmedel

I världen idag består drivmedlet som används i flygplan endast av 0,01 % biodrivmedel. Biodrivmedel beräknas kunna sänka utsläppen av CO₂ från flyget med 10-30 % till år 2050, då utsläppen av CO₂ behöver vara nettonoll för att uppnå en maximal höjning av den globala temperaturen med 1,5 °C enligt IPCC. Biodrivmedel är däremot idag två till sex gånger så dyrt som fossilt flygbränsle vilket utgör ett hinder för utökad användning (Ryah Whalen et al. 2021). Trots den utveckling som sker av befintlig teknik och den användning av biobränslen som tros kunna ske så är det fortfarande cirka 30-60 % av utsläppen som behöver sänkas gentemot förutspådda utsläpp 2050, för att kunna uppnå nettonoll utsläpp av CO₂. Därför kommer utveckling av ny teknik, så som batterielektriska- och bränslecellsflygplan, som kan sänka utsläppen vara en otroligt viktig del för att flyget ska uppnå netto-noll utsläpp till 2050.

3.5.8 Transporter

Ett av utsläppen som sker inom flygplatsområdet kommer från transporter. Transporterna ger generellt mest upphov till luftutsläpp, beroende på vilken typ av fordon och vilket bränsle de använder som drivmedel. De transporter som sker inom eller i närheten av flygplatser är transport av varor och gods, transport av resande passagerare, flygplatsen personal transporterar sig till och från jobbet, transport av drivmedel och intern marktrafik

så som underhållningsfordon, bagagefordon och transporter av passagerare till och från flygplanen. De olika flygplatserna har strategier för att minska utsläppen från transporter med hjälp av bland annat bibränslen och elfordon.

Hur passagerarna transporterar sig till och från flygplatsen är svårare att påverka. Beroende på vilka möjligheter som finns och hur attraktiva transportalternativen är kommer transporterna skilja sig. Finns det kollektivtrafik lättillgängligt är det ett alternativt till personbilstrafiken. Stationsavgiften på tågstationen på Arlanda ger inte ett incitament att ta tåget till flygplatsen. Inom den närmsta framtiden kan ett möjligt scenario av användandet av elflyg ingå även vid längre flygresor. Enligt Wennberg⁶ och Nilsson⁷ kan elflyget fylla ett transportsyfte från mindre flygplatser till större flygplatser för vidare resande. Det kan leda till att personliga marktransporter till och från flygplatser kommer kortas ner samt förflyttas till andra delar av landet, främst vid studie av de mindre flygplatserna. Till och från Kalmar Öland flygplats sker 10 % av passagerartransporterna med buss. Volymmässigt är det just transporten av passagerare som är störst utav transporterna till och från flygplatsen (Kalmar Öland Airport AB 2020).

Marktrafik inom flygplatsområden sker till stor del med eldrivna fordon eller fordon på miljöbränsle, så som HVO (Swedavia AB 2020a). Förnybara bränslen och el är ett sätt att minska utsläppen och miljöpåverkan från de interna transporterna. På Arlanda flygplats tankar flygplatsfordonen med antingen flytande bränsle eller biogas. Under år 2019 fanns bensen, diesel, EVO 50, HVO 100 samt 100 % förnybar biogas tillgänglig för tankning. Diesel och bensen var av miljöklass 1 och innehåller en låg svavelhalt. Vid beräkning av utsläppen för marktransporter har Swedavia valt att räkna utsläppen från de förnybara bränslena som nettonoll (ibid.). Oavsett om bränslena är fossila eller förnybara ger de upphov till utsläpp och de kommer att påverka när man mäter koncentrationer av luftföroreningar för MKN och kan göra att normerna överskrids.

En annan av de transporter som sker till och från flygplatser idag är transport av flygbränsle. Denna transport sker med tankbilar, med andra ord lastbilar, vilket är en källa på fossila utsläpp till luften. Dessa transporter skulle minska i antal och därmed skulle även utsläppen från transporter att minska vid användning av elflygplan (Kalmar Öland Airport AB 2018). Denna transport kan flygplatserna välja att upphandla av företag som använder sig av biobränslen i sina lastbilar.

4 Miljökonsekvenser på flygplatser med kommersiellt elflyg

4.1 Scenarierna

De olika scenarierna baserar sig på att en tredjedel av inrikes flygtrafiken redan idag kan ersättas med elflygplan. Att alla flygsträckor som kan trafikeras med elflyg kommer att, inom en snar framtid efter att flygplanen kommit ut på marknaden, göra det är inget troligt utfall då det är en stor investering för både flygbolag och flygplatser att införskaffa flygplan

⁶Lena Wennberg, miljöchef, Swedavia, intervju 2021-10-11

⁷John Nilsson, strategisk chef för utveckling av elektriska och vätgasdrivna flygplan, Swedavia, intervju 2021-10-11

och kunna tillhandahålla laddning för flygplanen. Det gör att de fyra scenarierna utgår från beräkningar av hur stor andel av den möjliga trafiken som kommer att trafikeras med elflyg. De fyra scenarierna är som följer, scenario 1 innebär att 100 % av andelen som kan trafikeras av elflyg kommer att göra det, scenario 2 innebär att 60 % av andelen som kan trafikeras av elflyg kommer att göra det medan scenario 3 och 4 respektive har 30 % och 10% av den möjliga trafiken trafikerad med elflygplan. Dessa scenarierna används sedan för att se hur stor effekten av användandet av elflyg kommer ge på de olika flygplatserna i form av energiförbrukning, luftföroreningar, buller och vattenföroreningar. Scenarierna används för att kunna kvantifiera resultaten och få en känsla för om elflygplan har en positiv eller negativ effekt på de olika miljökonsekvenserna.

Att en tredjedel av inrikestrafiken på varje flygplats går att trafikera med elflyg är inte troligt, antagandet gjordes för att underlätta beräkningar. Troligare är att andelen trafik som kan ersättas med elflyg varierar stort mellan flygplatserna beroende på vilka linjer de trafikerar och hur stor del av trafiken som sker inrikes jämfört med utomlands. Data för antal inrikes LTO per flygplats hämtades från transportstyrelsens hemsida för flygplatsstatistik (Transportstyrelsen 2022). Inrikes LTO innehåller linjetrafik och oregelbunden trafik inrikes medan militärflyg, skolflyg och dylikt har räknats bort. Statistiken ges över antal landningar och här antas att antal landningar övergår i antal LTO. Med andra ord att de flygplan som landar på flygplatserna även kommer att flyga vidare inrikes. Antal LTO:er inrikes och per scenario för de olika flygplatserna kan ses i tabell 6 och är avrundade till närmsta heltal.

Tabell 6: Antal inrikes LTO-cykler per scenario och år som kommer att vara trafikerade med elflyg. Dessa värden används för beräkning av miljökonsekvenser och är baserade på att en tredjedel av inrikes flygtrafiken i Sverige är möjlig att trafikera med elflygplan.

Antal LTO som trafikeras med elflyg					
<i>Flygplats</i>	<i>Totalt antal inrikes LTO</i>	<i>Scenario 1 100 % elflyg</i>	<i>Scenario 2 60 % elflyg</i>	<i>Scenario 3 30 % elflyg</i>	<i>Scenario 4 10 % elflyg</i>
Arlanda	29 117	9 706	5 823	2 912	971
Skellefteå	1368	456	274	137	46
Visby	4680	1 560	936	468	156
Kalmar	2071	690	414	207	69

De olika scenarierna användes för beräkningar under respektive miljökonsekvens och alla konsekvenser baseras på typflygplanet som är batterielektriskt.

4.2 Energiförbrukning

För att kunna trafikera flyglinjer med elflyg är det en förutsättning att det går att ladda alternativt tanka flygplanen på de flygplatser som används. För att det ska vara rimligt att använda elflyg behöver uppladdningen av batterierna ske under en skälig tid, det kan antas att tankning med vätgas är en kortare process. Ett exakt effektbehov eller tidsram finns inte än idag. Men för typflygplanet som används i den här rapporten rekommenderas 1 MW per flygplan för att kunna ladda batterierna och en laddning förväntas ta cirka 40 minuter (Heart Aerospace u.å.). Den energiförbrukning som antas påverkas av elflygplan är laddningen av flygplanen och uppvärmning och drift av lokaler antas vara densamma.

För att beräkna en ungefärlig elförbrukning vid laddning av elflygplan användes typflygplanet och rekommendationerna för laddning av planet. I ekvation 4 beräknades en energiförbrukning per laddning och flygplan

$$1 \text{ MW} \cdot 40 \text{ min} = 1 \cdot \frac{40}{60} \approx 0,67 \text{ MWh} \quad (4)$$

Det innebär att en trolig energiförbrukning per laddning och flygplan ligger runt 0,67 MWh och en laddning per LTO antas ske på flygplatsen då flygplanet antas landa, ladda och sedan flyga iväg igen.

Energiförbrukningen per flygplan användes för att beräkna en skillnad i energiförbrukning för flygplatserna mot dagens förbrukning. För respektive flygplats och scenario kan energiförbrukningen ses i tabell 7. För samtliga flygplatser ökar energiförbrukningen, vilket är väntat, och den största ökningen kan ses för de mindre flygplatserna där skillnaden blir störst. För beräkning av energiförbrukningen för de olika scenarierna användes data över energiförbrukning ur respektive miljörapport, elförbrukningen för typflygplanet och antal inrikes LTO för respektive scenario. En typberäkning visas i ekvation 5 och 6 och är för Arlanda flygplats för scenario 2 med 60 % elflyg. Beräkningarna har utförts i Excel och samtliga beräkningar kan ses i appendix A.2.

$$5823 \cdot 0,67 = 3901,41 \text{ MWh} \quad (5)$$

$$\frac{3901,41}{135939} \approx 2,9 \% \quad (6)$$

Det innebär en energiökning på 2,9 % för Arlanda flygplats om scenario 2 förverkligas.

Tabell 7: Energiförbrukning från användningen av elflyg beräknat per laddning och antal inrikes LTO:er som trafikeras per scenario. Siffrorna är givna i MWh och den procentuella ökningen som skulle ske jämfört med den årliga energiförbrukningen på respektive flygplats. Elförbrukningen är avrundad till närmsta 10-tal i beräkningarna då det är hög osäkerhet innan en ökning beräknas.

Elförbrukning med elflygplan i trafik					
<i>Flygplats</i>	<i>Årlig [MWh]</i>	<i>Scenario 1 100 % elflyg</i>	<i>Scenario 2 60 % elflyg</i>	<i>Scenario 3 30 % elflyg</i>	<i>Scenario 4 10 % elflyg</i>
Arlanda	135 939	+4,8 %	+2,9 %	+1,4 %	+0,5 %
Skellefteå	1 476	+21,0 %	+12,2 %	+6,1 %	+2,0 %
Visby	1 908	+55,0 %	+33,0 %	+16,2 %	+5,2 %
Kalmar	1 358	+33,9 %	+20,6 %	+10,3 %	+3,7 %

För de mindre flygplatserna blir det en markant ökning i elförbrukningen, framförallt för de scenarier med högre andel elflyg. För Visby flygplats kan elförbrukningen öka med över 50 % medan samma andel elflygplan endast ger en 5 % ökning för Arlanda flygplats. Att elförbrukningen ökar med användandet av elflygplan är förväntat oavsett andel elflygplan i drift. Tillräcklig elförsörjning till flygplatserna är något som måste tas i hänsyn, speciellt om det önskas att ladda flera elflygplan samtidigt. Om elflygen istället drivs med bränsleceller kommer inte samma ökning i elförbrukningen ske, då energin kommer från vätgas.

4.2.1 Energilagring

Ett sätt att säkra tillgången på el för laddning av elflygplan på flygplatser, antingen för att minska effekttoppar eller för att spara på kostnader är energilagring. Eftersom energilagret kan laddas när energin finns i överskott och när den är billig i form av exempelvis el och kan sedan användas när elen är dyr. Energilagring kan även vara fördelaktigt vid strömavbrott som reservkraft om energilagrets elnät är sammankopplat till resten av verksamheten. Lagring kan även ske om flygplatserna producerar egen el med solceller eller med någon annan teknik.

De metoder för energilagring som är mest relaterat till elflygplan är batterilager eller vätgaslagring. Batterilager innebär att ett antal batterier med hög kapacitet laddas upp för att användas när behovet är större. Batterilagring är relativt ovanligt men finns på några få platser i världen. En av dem platserna är Uppsala där ett batterilager har byggts med en maxkapacitet på fem MW och en energimängd på 20 MWh (Vattenfall u.å.). Det är vanligast att lagra energi i batterier eftersom det är en väletablerad teknik, men det är inte ett hållbart alternativ för storskalig lagring över lång tid på grund av dess låga energi densitet och höga självurladdningsgrad (Yang Zhang et al. 2017). Det innebär att det krävs stora volymer för att kunna lagra tillräcklig mängd energi och den energi som lagras laddas ur om den inte används inom en snar framtid. Vätgas är en annan metod för energilagring som kan användas. Vätgas tillverkas på samma sätt som vid användning i flygplan men istället lagras vätgasen för att användas i bränsleceller och omvandlas tillbaka till el när behovet finns. Vätgas har högre energidensitet än batterier och mycket lägre energiläckage men den största nackdelen med vätgas som energilager är den höga investeringskostnaden och att det har en hög omvandlingsförlust (ibid.). Energi-lagring skulle ha en viss påverkan på miljön under byggnadsstadiet och om olyckor skulle ske.

En annan möjlighet som finns för att lagra energi vid flygplatser är att använda den allt större mängden elbilar som finns i samhället. Flygplatserna skulle kunna i utbyte mot exempelvis gratis parkering eller dylikt ha möjligheten att använda elbilarnas batterier som batterilager medan de är parkerade under längre perioder (Xiaohua Wu et al. 2016). Parkeringar har dessutom stora outnyttjade ytor som kan användas för solceller i kombination med skydd för bilarna. En kombination av solcellstak och elbilar som batterilager skulle kunna ge en möjlighet att lösa effekttoppar vid laddning av elflygplan. Det förutsätter att elbilarna är laddade när passagerarna återvänder och att någon kompensation ges för att en eller ett par cykler av batteriets livslängd förbrukas (Pedro Nunes, Raquel Figueiredo & Miguel C. Brito 2016).

4.3 Buller

De elflygplan som tros komma ut på marknaden först kommer framdrivningen av flygplanet att ske med propeller. I en rapport skriven av Berton och Nark (2019) har de simulerat lågbullerstarter för propellerflygplan med en propeller och med fyra till fem sittplatser. Flygplansmodellen som det modellerades efter var en Cirrus SR20 och med hänsyn till ICAO:s regelverk för lätta propellerplan i bilaga 16. Ljudnivån från en propeller varierar med en funktion över hastigheten på propellerspetsen. Det har forskats på att försöka sänka hastigheten på propellern för att minska buller från flygplan, men intresset för forskningen har minskat troligtvis för att det är dyrt och opraktiskt (Jeffrey J. Berton & Douglas M. Nark 2019). Med elmotorer blir det lättare att reglera gaspådraget och på så sätt reglera

propellrarnas hastighet vilket gör att möjligheten till att flyga med lägre hastighet på propellern kan uppstå. Denna förutsättning att reglera hastigheten på ett enklare sätt ger en möjlighet att starta flygbanan med en lägre hastighet på propellarna, det resulterar i en mindre brant stigningskurva men kan även ge lägre ljudnivåer. I studien av Berton och Nark visade resultaten att en minskning av ljudnivån vid start kunde vara så mycket som 12 dBA vid jämförelse av samma modell på flygplan fast med förbränningsmotor. Studien innebar enbart modellering av data där det var ljudnivån från propellern undersöktes (Jeffrey J. Berton & Douglas M. Nark 2019).

I en annan studie av Synodinos et al. (2017) jämfördes ett batterielektriskt flygplan och ett hybridelektriskt flygplan med en Airbus 230. Olika antal propellrar med varierande diameter användes för de elektriska flygplanen för att se hur stor påverkan det kan ge på ljudnivåerna. Desto fler propellrar som används desto mindre diameter krävs per propeller. I studien kallas seriehybridflygplanet TeDP och det helelektriska flygplanet för DEP och planen beräknas för 150 passagerare, vilket är betydligt fler än för de planen som kommer ut på marknaden först. Energidensiteten hos batterierna för det helelektriska planet sattes till 1500 Wh/kg, vilket är högre än energidensiteten hos dagens batterier men vilken beräknas kunna utvecklas till år 2035 (Synodinos, A, Self, RH & Martinez, AJ 2017).

Vikten för ett flygplan med förbränningsmotor kommer att ändras under resans gång och flygplanet kommer att vara lättare vid landning än vid start, på grund av att vikten för det förbrända bränslet försvinner. Det gäller inte för batterielektriska flygplan eftersom de måste bära batteriernas vikt hela resvägen. Det ger förutom effekt i energiförbrukningen på flygsträckan, att det krävs mer energi att flyga ett tungt plan än ett lätt, även effekt på ljudnivåerna och då främst vid landning. Vid landning är det de aerodynamiska ljudet som ger störst upphov till buller och inte själva motorljudet. I studien av Synodinos et al. jämfördes vikt på flygplanet och antal propellrar, vilket visade att totalvikten på flygplanet sjunker med antal propellrar för både det helelektriska flygplanet DEP och för det hybridelektriska planet TeDP. TeDP planet kommer att minska i vikt under flygningens gång och när en jämförelse gjordes med ett A320 plan så är TeDP planet lättare vid både start och landning om TeDP planet har sex propellrar eller fler. Bidraget från motorljudet beräknas försumbart då det är så litet vid användning av elmotorer. Ljudnivåerna beräknas utifrån det buller som uppkommer från propellern, jetmotorn och från flygplanskroppen (ibid.).

Eftersom alla tre modeller har samma form på flygplanskroppen varierar ljudnivån från den parametern enbart på grund av operationella inställningar så som klaffar och landningsställ. När en jämförelse gjordes mellan de två elflygplanen och A320 för en variation med antal propellrar, mellan två till tolv stycken, och med fast gaspådrag visar det att TeDP flygplanet är tystare än A320 vid de modeller med antal propellrar där planet är lättare (sex eller fler) vid både start och landning. De båda elektriska flygplanen är tystare än A320 vid start med en variation för DEP på 2-3 db lägre ljudnivå och 3-4 dB för TeDP. Det batterielektriska planet DEP är tyngre än A320 för alla variationer på antal propellrar och kommer därmed även låta mer vid landning. En ökning av energidensiteten hos batterierna från 1500 Wh/kg till 2000 Wh/kg mer än halverar skillnaden mellan de två elektriska flygplanstyperna vid landning. Detta gäller speciellt för de modeller med 6 propellrar eller fler. Det batterielektriska flygplanet har trots allt högre ljudnivå vid landning än A320 flygplanet (ibid.).

Förutom skillnader i ljudnivåer vid start och landning visar även samma studie hur utbredningen av bullernivån efter rullbanan skiljer sig mellan de olika flygplanstyperna. Avståndet baserades på hur långt 90 dB ljudnivå uppnåddes. För det helelektriska DEP flygplanet minskar sträckan som exponeras för maximalt 90 dB med ett par hundra meter vid jämförelse med A320. Det är därmed mindre arealer som exponeras för höga ljudnivåer och ännu större skillnad kan ses vid jämförelse med det hybridelektriska TeDP. Då sker en minskning med drygt 1,5 km jämför med A320. De båda elektriska flygplanen har kortare ljudutbredning för en ljudnivå på 90 dB vid start, vilket bör ge upphov till mindre markbuller (Synodinos, A, Self, RH & Martinez, AJ 2017). Det kan tänkas att närboende skulle bli mindre störda av buller från elflygplan än förbränningsflygplan.

Bullernivåerna från elflygplan kommer därmed främst vara beroende på hur flygplanet framförs, hur start och landning sker men det kommer även vara beroende av utformningen på flygplanet. Det är svårt att förutspå vilken bullernivå som kan förväntas för elflygplan då det är beroende av många parametrar och mätdata behövs för att få en tydlig bild över förändringen. Att koppla bullernivåerna till de olika scenarierna är dessutom problematiskt på grund av komplexiteten och att bullernivåer generellt beräknas med specifik programvara.

4.4 Vattenföroreningar

Eftersom de traditionella flygplanen troligen kommer att ersättas snarare än att flygplansflottan utökas lär dimensioneringen på dagvattenhanteringen vara ungefär densamma och den behöver därmed inte utökas. Utsläppen kan skilja sig beroende på metall och legering som finns på de nya flygplanen. De aktiviteter så som avisning av flygplan och rullbanor som släpper ut föroreningar i vatten kommer behöva utföras även vid användning av elflygplan. Det är tänkbart att elflygplanen kommer behöva byggas med så mycket viktsparande åtgärder som möjligt på grund av batteriernas vikt. Det innebär att flygplanen kan komma att bli byggda i en annan metall än de flygplan som byggs idag vilket kan ge utsläpp till andra föroreningar i vattnet. Det saknas däremot detaljerade uppgifter om elflygplanens konstruktion och det är därmed osäkra antaganden.

Säsongen för avisning kan tänkas påverkas av ett framtida klimat då fler dagar runt 0 °C kan förväntas om vintermånaderna blir varmare. Detta kommer skilja sig över landet beroende på vilken flygplats som studeras och det kommer även att påverka halkbekämning av rullbanor. Behovet av mer kemisk halkbekämning kan öka om problem med underkyllt regn, isbildning på banor och liknande problem uppstår om temperaturen varierar runt 0 °C snarare än om det är minusgrader och nederbörd kan förväntas i form av snö. Denna förändring kan dock förväntas oavsett om elflygplan tas i bruk. Elflyget skulle däremot kunna ha en positiv effekt på klimatet med minskade utsläpp av växthusgaser vilket kan leda till mindre klimatförändringar och stabilare vintrar.

Då elflygplanen än så länge är planerade att byggas för färre passagerare än de flygplan som flyger idag kommer det att behöva göras fler starter med elflygplan om samma mängd passagerare ska transportera sig. Det skulle kunna innebära att ett större antal avisningar kommer att behövas och således större användning av avisningsvätska och mer utsläpp till naturen beroende på flygplatsernas hantering.

Beroende på vilken typ av markarbete som kommer att behöva göras vid implementering av infrastruktur för elflygplan kan det påverka föroreningar i vatten. Det är exempelvis beroende på hur marken ser ut, vilka förändringar som behöver göras och hur nära det finns vattenmassor som kan förorenas. Beroende på de kraftledningarna som finns i närheten av flygplatserna kommer mer eller mindre byggarbeten behöva ske. Infrastruktur för lagring av vätgas kan vara ett större projekt och ha större påverkan, det måste dock utredas för respektive plats. På grund av att vätgas är lättantändligt krävs det att det förvaras säkert likt flygbränslet. Marken inom och runt flygplatsernas område är dessutom ofta förorenad av flygbränsle och PFAS vilket behöver tas vid hänsyn vid markarbeten (Kemikalieinspektionen, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap & Naturvårdsverket 2016).

4.5 Luftföroreningar

Flygtrafiken med dagens förbränningsmotorer ger som nämnt utsläpp till flertalet luftföroreningar. Användning av batterielektriskt flygplan ger inte upphov till några luftemissioner, varken inom LTO-cykeln eller vid studie av hela flygsträckan. Vätgasflygplan har enbart vattenånga som restprodukt och räknas ej som förorening. Vid storskalig användning av elflygplan skulle luftföroreningar från flygtrafiken runt flygplatser skulle därmed minska drastiskt. Utredningen är avgränsad till miljökonsekvenserna kring flygplatser och luftutsläpp från tillverkning av elflygplan eller batterier samt transporter under tillverkning ingår ej.

Om all flygtrafik är elektriskt driven skulle luftföroreningar kring flygplatser huvudsakligen komma från aktiviteter som intern mark marktrafik, uppvärmning av byggnader, passagerare och anställdas transporter till och från flyplatsen, gods- och bränsletransporter samt serviceverksamhet på flygplatsens område (Skellefteå Airport 2020). Det är dock inte ett troligt scenario inom en snart framtid eller överhuvudtaget. För att få en bild av hur stor påverkan elflygplan kan ha på utsläppen av luftföroreningar räknades det på att alla utsläpp som skulle skett från förbränningsflygplan försvinner i sin helhet när de ersätts av elflygplan.

För att beräkna hur stor minskning av utsläpp som skulle ske användes emissionsfaktorer för inrikes flygplan i vikt per energienhet hämtat från Naturvårdsverket (Naturvårdsverket u.å.[b]). Eftersom emissionsfaktorerna är givna i vikt per energienhet användes energiförbrukningen framräknad för elflygplan på de respektive flygplatserna för att kunna räkna den totala utsläppsminskningen per år. Den årliga minskningen är sedan jämförd med det totala utsläppet av föroreningen för 2019 taget ur respektive flygplats miljörapport. Energin i batterier är inte direkt överförbar till energiinnehållet i flygbränsle. Effektivitet på motor, vikt och storlek på flygplan och förluster i elmotorn är faktorer som kommer att spela in. Det har förenklats för att kunna få en beräkning på luftutsläppen och det har därmed antagits lika. Det betyder i det här fallet att 1 MWh batterikraft ger samma flygsträcka som 1 MWh flygbränsle.

Tabell 8: Emissionsfaktorer för luftföroreningar för inrikes flygtrafik (Naturvårdsverket u.å.[b]).

Emissionsfaktorer inrikes flygtrafik						
Luftförorening	CO ₂	CO	NO _x	VOC	SO _x	PM ₁₀ & PM _{2,5}
Faktor [kg/MWh]	-	0,858	0,835	0,079	0,084	24,556 · 10 ⁻³

Från emissionsfaktorerna beräknas det totala årliga utsläppet med hjälp av ekvation 7 där i är luftföroreningen f är faktorn och E_{mn} är den årliga energiförbrukningen i MWh för respektive flygplats (m) och scenario (n).

$$M_i = f_i \cdot E_{mn} \quad (7)$$

Till exempel beräknades utsläppen av SO₂ från Skellefteå flygplats för scenario 1 enligt följande:

$$M_{SO_x} = f_{SO_x} \cdot E_{S1} = 0,084 \cdot 395 = 33,18 \text{ kg/år} \quad (8)$$

För att få en procentuell minskning har massan sedan delats med det årliga totala utsläppet av föroreningen. Alla värden som har används kan ses i Appendix A.3.1.

Det finns ingen emissionsfaktor för CO₂ att räkna med då metoden för att räkna utsläpp från LTO-cykeln innehåller ett flertal faktorer så som antal passagerare, antal säten på flygplanet och vikt på bagage. För att få en ungefärlig minskning av utsläppen har istället energiinnehållet i flygfotogen och utsläppen givna per ton förbränt bränsle använts. Energiinnehållet i flygfotogen är enligt Trafikanalys cirka 3700 Wh/kg (Trafikanalys 2020). Förbränning av ett ton flygbränsle ger enligt Transportstyrelsen utsläpp av 3,16 ton CO₂ (Transportstyrelsen 2019b). Som exempel beräknas CO₂ utsläppen från Skellefteå flygplats för scenario 1 enligt följande:

$$M_{CO_2} = \frac{306}{0,0037} \cdot 3,16 = 260931 \text{ kg/år} \quad (9)$$

Detta värde jämfördes sedan med det totala utsläppet för att få en årlig minskning av CO₂.

För Arlanda flygplats som är en stor flygplats med mindre andel inrikestrafik blir minskningen av utsläpp av luftföroreningen relativt liten. Skillnaderna beräknade kan ses i tabell 9. En minskning av samtliga luftföroreningar kan ses och störst är minskningen där högst andel elflygplan är i trafik, vilket var väntat. Störst minskning av Arlandas utsläpp sker för CO₂ samt SO_x.

Tabell 9: Procentuell minskning av årliga utsläpp utav luftföroreningar på Arlanda airport med elflygplan i trafik.

Minskning av utsläpp av luftföroreningar i % Arlanda Airport				
<i>Luftförorening</i>	<i>Scenario 1 100 % elflyg</i>	<i>Scenario 2 60 % elflyg</i>	<i>Scenario 3 30 % elflyg</i>	<i>Scenario 4 10 % elflyg</i>
CO ₂	-2,5 %	-1,5 %	-0,75 %	-0,25 %
CO	-0,78 %	-0,47 %	-0,23 %	-0,08 %
NO _x	-0,57 %	-0,34 %	-0,17 %	-0,06 %
VOC	-0,47 %	-0,28 %	-0,14 %	-0,05 %
SO _x	-0,66 %	-0,40 %	-0,20 %	-0,07 %

För Skellefteå flygplats har elflygplanen störst påverkan på utsläppen av svaveloxider, vilket var något förvånande. Med scenario 1 där 100 % av flygtrafiken som kan trafikeras med elflyg gör de kan flygplatsens utsläpp av SO_x nästintill halveras. Alla scenarier har däremot

en tydlig minskning av utsläppen av SO_x. Eftersom flygplatsen är en av de mindre har även utsläppen av de övriga luftföroreningarna effekt vid trafikering med elflygplan.

Tabell 10: Procentuell minskning av årliga utsläpp utav luftföroreningar på Skellefteå Airport med elflygplan i trafik.

Minskning av utsläpp av luftföroreningar i % Skellefteå Airport				
<i>Luftförorening</i>	<i>Scenario 1 100 % elflyg</i>	<i>Scenario 2 60 % elflyg</i>	<i>Scenario 3 30 % elflyg</i>	<i>Scenario 4 10 % elflyg</i>
CO ₂	-10,8 %	-6,5 %	-3,2 %	-1,1 %
CO	-3,8 %	-2,3 %	-1,2 %	-0,38 %
NO _x	-2,7 %	-1,6 %	-0,82 %	-0,27 %
VOC	-5,6 %	-3,4 %	-1,7 %	-0,56 %
SO _x	-36,5 %	-21,9 %	-11,0 %	-3,7 %

Utsläppen av flygplatsens kväveoxider minskade näst mest av luftföroreningarna för Visby flygplats. Den största minskningen sker av koldioxid och svaveloxiderna minskar också tydligt. För Visby flygplats fanns ingen data för utsläpp av partiklar eller flyktiga organiska ämnen. En del av luftföroreningarna från flygplatsverksamheten kommer från förluster vid tankningen av flygplanen och andra fordon, denna förlust som sker vid tankning av flygplan kommer att försvinna vid användning av elflygplan. Det är dock svårt att uppskatta hur stor den förlusten är och vilken miljövinna det skulle ge (Swedavia AB 2020b).

Tabell 11: Procentuell minskning av årliga utsläpp utav luftföroreningar på Visby Airport med elflygplan i trafik.

Minskning av utsläpp av luftföroreningar i % Visby Airport				
<i>Luftförorening</i>	<i>Scenario 1 100 % elflyg</i>	<i>Scenario 2 60 % elflyg</i>	<i>Scenario 3 30 % elflyg</i>	<i>Scenario 4 10 % elflyg</i>
CO ₂	-33,0 %	-19,8 %	-9,9 %	-3,3 %
CO	-2,9 %	-1,7 %	-0,87 %	-0,29 %
NO _x	-10,3 %	-6,2 %	-3,1 %	-1,0 %
SO _x	-8,8 %	-5,3 %	-2,6 %	-0,87 %

För Kalmar Öland flygplats har användningen av elflygplan störst påverkan på utsläppen av CO₂ men det sker även en tydlig minskning av CO utsläppen. Eftersom flygplatsen är relativt liten med stor andel inrikestrafik ger det en tydlig skillnad i utsläppen av luftföroreningar för alla scenarier. Data för SO_x saknas dock och ingen jämförelse har kunnat göras.

Tabell 12: Procentuell minskning av årliga utsläpp utav luftföroreningar på Kalmar Öland Airport med elflygplan i trafik.

Minskning av utsläpp av luftföroreningar i % Kalmar Ölands Airport				
<i>Luftförorening</i>	<i>Scenario 1 100 % elflyg</i>	<i>Scenario 2 60 % elflyg</i>	<i>Scenario 3 30 % elflyg</i>	<i>Scenario 4 10 % elflyg</i>
CO ₂	-27,5 %	-16,5 %	-8,2 %	-2,8 %
CO	-14,0 %	-8,4 %	-4,2 %	-1,4 %
NO _x	-7,3 %	-4,4 %	-2,2 %	-0,73 %
VOC	-6,0 %	-3,6 %	-1,8 %	-0,60 %

Den allra största minskningen av luftföroreningar sker av koldioxid för samtliga flygplatser. Koldioxid är den luftförorening som släpps ut i störst kvantitet under flygning så det är ett förväntat resultat.

Preciseringarna i miljökvalitetsmålet *frisk luft* är hårdare satta än de lagstadgade miljö-kvalitetsnormerna. Det innebär att även om MKN uppnås ska det strävas efter att minska utsläppen och därmed koncentrationen av luftföroreningar ytterligare. Frisk luft preciseringarna innehåller tydligt lägre koncentration för samtliga luftföroreningar.

En annan metod för att beräkna minskningen av luftutsläppen användes där utsläpp i kg/LTO inrikes för en medelflotta med data från IPCC användes. Beräkningar med denna data gav däremot helt orimliga resultat där minskningen skulle vara större än hela flygplatsen totala utsläpp för luftföroreningen. Det kan därmed bekräftas att det är stora osäkerheter i beräkningarna och att de mer ska ses som riktmärke att elflygplan kan ha en relevant påverkan på minskning utav utsläpp av luftföroreningar. Det finns inget årtal på publikationen men då den själv har referenser på sent 90-tal så kan det antas att den är något förlegad och att utsläppen från medelflottan idag är lägre än de angivna i rapporten (Kristin Rypdal u.å.).

4.6 Skillnader mellan bränslecells och batterielektriskt flygplan

En av de främsta skillnaderna mellan bränslecells flygplan och batterielektriskt flygplan är infrastrukturen som krävs på flygplatsen. För vätgasplanen kommer vätgas i tillräckliga volymer behöva förvaras för att kunna tanka planen med. För de batterielektriska flygplanen kommer tillräcklig tillgång på elektricitet att behövas, både vad gäller effekt och förbrukning. Elförbrukningen på flygplatserna skulle därmed inte öka på samma sätt vid trafikering med bränslecellsplan som vid trafikering med batterielektriska flygplan.




Vid jämförelse av luftutsläppen från flygplanen kan den största skillnaden antas vara att vätgasflygplanen släpper ut vattenånga under flygning. Viss utformning på flygplanen kan även skilja men är inte ett perspektiv som studeras i den här rapporten. Samma aktiviteter för att uppfylla säkerhetskraven vid flygning kommer att gälla för de två flygplantyperna och de kommer ge liknande utsläpp av föroreningar till vatten.

Beroende på hur flygplanen måste utformas för tillgodose behoven för antingen batteri eller vätgas drift kan bulleralstringen påverkas. Om de olika typerna av flygplan kommer att ha liknande utformning kan det tänkas att vätgasflygplanet kommer att vara tystare. Detta

beror på att det kan antas att flygplan med vätgas och bränsleceller är lättare än flygplan med batterier för motsvarande kapacitet, vilket är sant för bilar vid samma jämförelse (RISE 2018).

5 Sammanställning ändring av miljökonsekvenser

För att få en överblick för de sammanlagda miljökonsekvenserna de olika scenarierna kommer att ha har de sammanställts i en tabell. Tabellen är baserad på Scenarierna, de fyra miljökonsekvenserna och utvärderade efter en skala på hur stor påvekan konsekvensen i sig har. Vid en specifik miljöbedömning skattas miljökonsekvenserna efter skalan: inga konsekvenser, små negativa konsekvenser, måttliga negativa konsekvenser och stora negativa konsekvenser. Då de exakta miljökonsekvenserna som uppstår vid användning av elflyg är högst osäkra skattas de efter om hur stor skillnaden blir från dagsläget. Skattningen är därför gjord efter om konsekvenserna kommer att påverkas i positiv riktning, med andra ord ge en mindre negativ miljöpåverkan, vara ungefär densamma eller förändras i en negativ riktning. Skattningen har följande färgskala:

-  Färre negativa konsekvenser
-  Samma negativa konsekvenser
-  Mer negativa konsekvenser

Tabell 13: Skattning av miljökonsekvenser vid användning av elflygplan

Sammanställning miljökonsekvenser				
<i>Scenario</i>	<i>Scenario 1</i>	<i>Scenario 2</i>	<i>Scenario 3</i>	<i>Scenario 4</i>
<i>Konsek.</i>	<i>100 % elflyg</i>	<i>60 % elflyg</i>	<i>30 % elflyg</i>	<i>10 % elflyg</i>
Energiförbrukning				
Buller				
Vattenföroreningar				
Luftföroreningar				

På grund av att scenarierna är baserade på hur stor andel av trafiken som består av elflygplan kommer storleken på påverkan att variera med denna faktor. Med andra ord kommer luftutsläppen att minska desto mer desto större andel av trafiken som går på el. Vice versa kommer elförbrukningen att öka med större andel elförbrukning. Skattningen av miljökonsekvenserna är därför inte beroende av de olika scenarierna utan de visar på vilken riktning det går att förvänta att miljökonsekvenserna rör sig vid användning av elflygplan.

6 Diskussion

Tekniken för elflygplan, både för de batterielektriska flygplanen och för flygplanen med bränsleceller, är fortfarande ny och många projekt är igång för att utveckla ett hållbarare flygande. Eftersom tekniken är så pass ny vet inte de olika aktörerna i flygbranschen än hur elflyg kommer att användas, på vilka sträckor och flygplatser elflygplan kommer att trafikera och hur utvecklingen kommer att se ut framåt. Det kommer troligtvis att hända mycket i branschen de närmsta åren och bilden kommer att klarna vartefter.

Det är möjligt trots osäkerheter att spekulera i möjliga scenarion kring elflygtrafikens framtid. Eftersom tekniken kring elflygplanen är så pass ny finns det få vetenskapliga källor i ämnet och alternativa källor så som intervjuer, verksamhetsutövares hemsidor och rapporter har använts. Det innebär att all fakta inte är granskad och en del osäkerheter och potentiella felkällor finns. Förutom att det finns få källor att tillgå är miljökonsekvenserna kring en flygplats komplicerade att mäta, beräkna och undersöka och därför riktade denna studie sig mot att uppskatta riktningen i förändringen för de miljökonsekvenser som främst påverkar kring flygplatser idag. De olika flygplatsernas miljörapporter är av varierande kvalitet med olika mycket information och därför har en del skillnader uppstått mellan de olika flygplatserna. För Visby Airport fanns exempelvis ingen data på utsläppen av VOC och för Kalmar Öland Airport fanns ingen data för SO_x , det gör att en procentuell minskning inte kunde beräknas.

En av begränsningarna i beräkningarna för de framtida scenarierna är att alla beräkningar är byggda på ett typ av flygplan. Flygplanet kommer troligen att vara ett av de första att användas kommersiellt och kan ge en mätstock för de miljökonsekvenserna som kommer uppstå. Vid beräkningarna för luftutsläppen är energiinnehållet för flygbränslet direkt översatt till energiinnehållet i batterierna, mer exakt den energiförbrukning som går åt för att ladda ett elflygplan. Naturligtvis är inte energiinnehållet direkt överförbart mellan de olika motorerna och sätten att driva fram flygplan. Mellan olika flygplansmodeller, hur de är lastade och hur de flygs kommer att påverka hur mycket bränsle som går åt, hur stor energiförlust som sker i motorn och hur långt det går att flyga på ett visst energiinnehåll. Dessutom är dagens inrikesflyg flera gånger större än de elflygplan som kommer ut i närtid. Det skiljer därmed mycket i antalet passagerare som andelen elflygplan kan transportera vid jämförelse med förbränningsflygplan. Det vill säga att luftutsläppen är beräknade utifrån antal LTO och inte efter antal passagerare varje LTO behöver ersätta. En av svårigheterna var att beräkna de luftutsläpp som försvinner vid användandet av elflygplan utan att använda etablerade program för att modellera luftemissionerna från nuvarande flygplan inom LTO-cykeln. Elflygplanen bör kunna ersätta en tredjedel av alla flygsträckor, vilket innebär att det är idag tekniskt möjligt att flyga en tredjedel av alla inrikes sträckor i Sverige (Swedavia Airports u.å.[a]). Om elflyget kan ersätta en tredjedel av alla passagerare är däremot mer osäkert. Beroende på hur stora flygplan som flyger sträckorna idag och hur fullbokade de är med passagerare kommer antalet elflygplan som behöver flyga variera. Luftutsläppen är dessutom beräknade för hela flygsträckan och inte specifikt inom LTO-cykeln vilket innebär att förändringen är något överskattad. Att beräkningarna inte tar hänsyn till antalet passagerare innebär att förändringen dessutom kan vara något underskattad.

Ytterligare en metod för att beräkna luftutsläppen, där utsläppen gavs i kg/LTO, utvärderades men gav orimliga resultat (Kristin Rypdal u.å.). Resultaten visade på minskningar av utsläppen som ligger under dagens nivåer för hela flygplatsen, detta trots att en relativt liten andel elflyg i trafik och metoden valdes därför att inte inkluderas som en del av studien. Dessa resultat kan bero på att rapporten är relativt gammal, från 90-talet, och utsläppen av luftföroreningar från medelflottan har minskat sedan dess. Det är därmed inte jämförbart med utsläppen från dagens flygplan. De varierande resultaten mellan olika metoder visar även på osäkerheten i beräkningarna och en tydligare prognos över vilka sträckor som ska trafikeras och vilken typ av flygplan som ska ersättas behövs för högre säkerhet.

Luftföroreningar, så som CO₂, PM, och SO_x, kommer att minska vid användandet av elflygplan, vilket går att konstatera då elflygplan har noll utsläpp av luftföroreningar vid flygning, bränslecellsplan släpper ut vattenånga. Luftföroreningar är en av de stora negativa konsekvenserna från flygtrafiken och har en global påverkan på klimatet (UNEP 2021). Att minska denna globala påverkan och den stundande klimatkrisen är vitalt och användande av elflygplan i liten skala ger en tydlig minskning av flygplatsernas utsläpp av framförallt CO₂. Användningen av elflygplan kan tänkas inte bara minska luftutsläppen men även fortsätta driva utvecklingen framåt för en miljövänligare flygsektor. Elflygplan kan även förbättra luftkvaliteten i närområdet kring flygplatser och minska risken för försurning och eutrofiering.

Bullernivåerna elflygplanen ger upphov till är osäkra och svåra att kvantifiera. En studie av Berton och Nark (2019) visar på en bullerminskning på upp till 12 dB för batterielektriska flygplan medan en annan studie av Synodinos et al. (2017) visar att bullernivåerna blir högre på grund av de batterielektriska flygplanens högre vikt. Studien gjord av Synodinos et al. (2017) visade dock på en minskning av bullerutbredningen vid start för det batterielektriska flygplanet. Studien visade även på en mätbar skillnad på bullernivåer baserat på flygplanets utformning i form av antal propellrar. Mindre men fler propellrar gav lägre ljudnivåer och just flygplanets utformning hade varit intressant att studera vidare för att se vilka effekter det kan ge. För vidare studie och för att få en tydligare bild över de bullernivåer elflyget kommer att ge upphov till behövs mätdata över de olika faktorer som påverkar bullernivåerna från elflygplanet. Det kan vara data över stigningsprofiler, flygplanskroppens utformning, antal propellrar och dess storlek samt flygplanets vikt. Hur flygplanen framförs verkar även ha en påverkan på bullernivåerna och där kan utbildning av piloter i att flyga tyst kunna fylla en del för att minska miljökonsekvenserna, snarare än den tekniska utvecklingen av flygplanen.

Elflygplan kan även fylla andra platser i flygbranschen. Elflygplan skulle kunna fylla ett syfte genom att användas som skolflygplan. Flygplanen som används för att utbilda piloter behöver inte ha plats för passagerare eller bagage. Skolflygplanen behöver inte heller kunna färdas lika långa sträckor och därför skulle elflygplan kunna vara ett miljövänligare alternativ till förbränningsflygplan. När efterfrågan på en flygsträcka är låg kan de mindre elflygplanen fylla ett syfte för att ersätta större halvtomma flygplan. Detta skulle kräva en viss planering för att kunna aktualisera denna typ av omställning men bör inte vara något problem med dagens teknik.

Scenarierna i studien bygger inte på något specifikt årtal för prognosen utan de utgår ifrån förändringar för 2019 års värden för flygtrafik och utsläpp. Det innebär att större eller mindre

förändringar kan ske beroende på hur flygbranschen utvecklas och passagerare väljer att resa. Vidare tar den inte hänsyn till möjligheten för nya linjer som kan uppstå vid användning av elflygplan. Då elflygplanen kräver betydligt kortare rullbana än förbränningsflygplanen kan mindre flygplatser vara möjliga att använda för elflygplan (Heart Aerospace u.å.). Studien har dock inte utrett hur det skulle påverka mycket små flygplatser med kort rullbana som har mycket begränsad trafik i dagsläget. Infrastrukturen för tillräcklig laddning av elflygplan skulle kunna vara en för hög tröskel. Resursförbrukningen med batterielektriska flygplan kan även utgöra en betydligt större ökning och hinder för mindre flygplatser än för de större flygplatserna.

Det finns med andra ord mycket utvecklingspotential i branschen och vidare studier är av vikt. De närmsta åren kommer troligen en tydligare prognos för elflygets framtid att klarna och miljökonsekvenserna kan utvärderas vidare.

7 Slutsats

De lokala miljökonsekvenser som framförallt påverkas vid användandet av elflygplan är energiförbrukning och luftföroreningar. Elförbrukningen kommer som väntat öka och den ökar med antalet elflygplan i bruk. Energilagring av något slag, förslagsvis batterilager eller vätgaslager, kan användas för att minska effekttoppar. Desto fler elflygplan i trafik desto större minskning av luftföroreningar kommer ske då elflygplanen har noll emissioner till luften vid användning. Bullerutbredningen kan tänkas minska vid starten med elflygplan medan högre bullernivåer kan tänkas vid landning då framförallt batterielektriska flygplan är tunga eftersom vikten av batterierna inte avtar med flygsträckan. Om energin som används för att ladda elflygplanen kommer från hållbara källor är elflygplan ett fördelaktigt alternativ ur ett flygplatsperspektiv vid jämförelse med dagens flygplan. Den främsta skillnaden mellan batterielektriska flygplan och bränslecellsflygplan kommer att vara infrastrukturen som krävs på flygplatsen. Flygplan med vätgas som drivmedel kommer även ha vattenånga som restprodukt vid användande medan batterielektriska plan har noll utsläpp till luften. Ett ändrat resmönster är tänkbart där elflygplanen fyller ett transportsyfte från mindre flygplatser till större flygplatser för vidare resande. Detta skulle kunna minska persontransporter kring de större flygplatserna så som Arlanda. Då elflygplanen inte kräver transporter av flygbränsle kommer transportererna av bränsle att minska.

Referenser

- Alsne, M. (2020). *Det elektriska flyget redo för nya höjder - Uppsala universitet*. Publisher: Uppsala universitet. Tillgänglig: <https://www.uu.se/nyheter/artikel/?id=14674&typ=> [2021-10-07].
- Banverket (u.å.). *Förutsättningar Hälsa - Luftföroreningar*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/contentassets/54d929e73e214131bf4ea1ea11d5fdf6/utredningar/034-037.pdf>.
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S. & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health, vol. 383 (9925), ss. 1325–1332. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)61613-X. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014067361361613X> [2021-12-22].
- Chapman, D. (2020). Nya sätt att avisa flygplan. *Scandinavian Traveler - For the modern traveler from Scandinavian Airlines*. Tillgänglig: <https://scandinaviantraveler.com/se/flyg/nya-satt-att-avisa-flygplan> [2021-09-07].
- Elias Dahl (2020). *Batterilagring och dess nytta i elnätet*. Umeå Universitet. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1393365/FULLTEXT01.pdf> [2021-10-19].
- Erik Forsberg (2014). *Nedbrytning av propylenglykol i uppsamlingsystem för avisningsvätskor*. ISSN 1401-5765. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:724150/FULLTEXT01.pdf> [2021-12-20].
- European Environment Agency, European Union Aviation Safety & Eurocontrol (2019). *European Aviation Environmental Report 2019*. 10.2822/309946. Tillgänglig: https://www.easa.europa.eu/eaer/system/files/usr_uploaded/219473_EASA_EAER_2019_WEB_HI-RES_190311.pdf [2021-09-09].
- Fossilfritt Sverige (u.å.). *Flygbranschen*. Tillgänglig: <https://fossilfrittssverige.se/roadmap/flygbranschen/> [2022-02-23].
- Heart Aerospace (u.å.). *FAQ | Heart Aerospace*. Tillgänglig: <https://heartaerospace.com/faq/> [2021-09-16].
- Jeffrey J. Berton & Douglas M. Nark (2019). *Low-Noise Operating Mode for Propeller-Driven Electric Airplanes*. DOI: 10.2514/1.C035242 Vol. 56, No. 4, July-August 2019. Tillgänglig: <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/1.C035242> [2021-12-07].
- Jenny Åberg (2019). *Lärares syn på introduktion av programmering i matematikämnet i grundskolans årskurs 7–9*. Examensarbete i matematik. Malmö universitet. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1496582/FULLTEXT01.pdf> [2022-02-01].
- Kalmar Öland Airport AB (2018). *Kalmar Öland Airport - Ansökan om nytt tillstånd enligt miljöbalken - miljökonsekvensbeskrivning*. [2021-11-15].
- Kalmar Öland Airport AB (2019). *Miljörapport - Kalmar Flygplats, gällande verksamhetsåret 2018*. MQ 2019-002. [2021-09-27].
- Kalmar Öland Airport AB (2020). *Miljörapport - Kalmar Flygplats, gällande verksamhetsåret 2019*. MQ 2020-007. [2021-09-27].
- Kalmar Öland Airport AB (2021). *Miljörapport - Kalmar Flygplats, gällande verksamhetsåret 2020*. MQ 2021-005. [2021-09-27].
- Karolinska Institutet (2021). *Partiklar | Karolinska Institutet*. Tillgänglig: <https://ki.se/imm/partiklar> [2021-10-28].
- Kemikalieinspektionen, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap & Naturvårdsverket (2016). *Rekommendationer för minskad användning av brandsläckningsskum*. Sunbyberg. Tillgänglig: <https://www.kemi.se/download/18.60cca3b41708a8aecdbb675c/1586790256690/rekommendationer-for-brandskum.pdf> [2022-02-01].
- Kristin Rypdal (u.å.). *Aircraft emissions*. Tillgänglig: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_5_Aircraft.pdf [2022-01-20].
- Miljödepartementet (1998). *Miljöbalk*. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808 [2021-10-19].
- Miljödepartementet (juli 2010). *Luftkvalitetsförordning*. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2001527-om-miljokvalitetsnormer-for_sfs-2001-527 [2021-10-19].
- Miljödepartementet (2013). *Miljöprövningsförordning*. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljoprovningforordning-2013251_sfs-2013-251 [2021-10-19].
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2018). *Svar på hemställan om risker och agerande vid brand i batterier*. Tillgänglig: <https://www.msb.se/contentassets/302a31c6b60540f0b6f2b60a3eee3e42/hemstallan-risker-agerande-brand-batteri.pdf> [2021-12-21].
- Nationalencyklopedin (u.å.[a]). *Buller - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/buller> [2021-12-07].

- Nationalencyklopedin (u.å.[b]). *Akustik - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/akustik> [2021-12-07].
- Nationalencyklopedin (u.å.[c]). *Propylenglykol - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/propylenglykol> [2021-12-20].
- Nationalencyklopedin (u.å.[d]). *Glykol - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: [https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/glykol-\(etylenglykol\)](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/glykol-(etylenglykol)) [2021-12-20].
- Nationalencyklopedin (u.å.[e]). *Luftförorening - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/luftf%C3%B6rorening> [2021-11-10].
- Nationalencyklopedin (u.å.[f]). *Övergödning - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/%C3%B6verg%C3%B6dning> [2021-10-28].
- Nationalencyklopedin (u.å.[g]). *Förurning - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/f%C3%B6rurning> [2021-10-28].
- Nationalencyklopedin (u.å.[h]). *Koldioxid - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/koldioxid> [2021-10-28].
- Nationalencyklopedin (u.å.[i]). *Flyktiga organiska ämnen - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/flyktiga-organiska-%C3%A4mnen> [2021-11-10].
- Nationalencyklopedin (u.å.[j]). *Bensen - Uppslagsverk - NE.se*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bensen> [2022-01-21].
- Naturvårdsverket (2008). *Handbok med allmänna råd för flygplatser*. Handbok 2008:1. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/0100/handbok-med-allmanna-rad-for-flygplatser--handbok-20081/> [2021-11-10].
- Naturvårdsverket (2015). *Vägledning om industri- och annat verksamhetsbuller*. Rapport 6538. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/6500/978-91-620-6538-6.pdf> [2021-09-01].
- Naturvårdsverket (2019). *Luftguiden - Handbok om miljö kvalitetsnormer för utomhusluft*. 2019:1 version 4. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/0100/luftguiden-version-4/> [2021-11-04].
- Naturvårdsverket (2021a). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhället/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatlag-och-klimatpolitiska-ramverk/> [2021-08-31].
- Naturvårdsverket (2021b). *Utsläpp från flyget ökar*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Tre-satt-att-berakna-klimatpaverkande-utslapp/Flygets-klimatpaverkan/> [2021-08-30].
- Naturvårdsverket (2021c). *Vägledning om buller från flygtrafik och flygplatser*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/buller/buller-fran-flygtrafik-och-flygplatser/> [2021-09-01].
- Naturvårdsverket (u.å.[a]). *Hur går det globala klimatarbetet?* Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/det-globala-klimatarbetet/parisavtalet/hur-gar-det-globala-klimatarbetet/> [2022-01-04].
- Naturvårdsverket (u.å.[b]). *Beräkna utsläpp av luftföroreningar*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/berakna-utslapp-av-luftfororeningar/> [2022-01-22].
- Naturvårdsverket (u.å.[c]). *Flygets klimatpåverkan*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-konsumtionen/flygets-klimatpaverkan> [2021-10-12].
- Naturvårdsverket (u.å.[d]). *Miljö kvalitetsnormer för utomhusluft*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/> [2021-10-19].
- Naturvårdsverket (u.å.[e]). *Miljökonsekvensbeskrivningen*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/miljobalken/specifik-miljobedomning/miljokonsekvensbeskrivningen/> [2021-10-20].
- Naturvårdsverket (u.å.[f]). *Hälsoeffekter av flygbuller*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/buller/buller-fran-flygtrafik-och-flygplatser/halsoeffekter-av-flygbuller> [2021-11-16].
- Nilsson, E., Johansson, A.-C., Brunskog, J., Sjökvist, L.-G. & Holmberg, D. (2005). *Grundläggande akustik*. TVBA-3116. Lunds tekniska högskola. Tillgänglig: https://www.akustik.lth.se/fileadmin/tekniskakustik/education/2020_VTAF01/SE-LTH-grundlaggande-akustik.pdf [2021-12-22].
- Pedro Nunes, Raquel Figueiredo & Miguel C. Brito (2016). *The use of parking lots to solar-charge electric vehicles*. University of Lisbon. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116304294> [2022-02-15].
- RISE (2018). *Bränslecellsbilens avgaser – vanligt vatten*. Tillgänglig: <https://www.ri.se/sv/berattelser/branslecellsbilens-avgaser-vanligt-vatten> [2022-02-01].

- Ryah Whalen, Thomas Eisenhart, Clint Follette, Pelayo Losada, Michael Deimler & Adam Gordon (2021). *Plotting Aviation's Uncharted Course to Net Zero*. Tillgänglig: <https://www.bcg.com/publications/2021/net-zero-aviation-is-the-future-of-aviation> [2021-09-13].
- Skellefteå Airport (2020). *Miljöuppföljning Skellefteå ESNS helår 2019 - Skellefteå Airport*. [2021-09-27].
- Skellefteå Airport (2021). *Miljöuppföljning Skellefteå ESNS helår 2020 - Skellefteå Airport*. D-2021-231707. [2021-09-27].
- SMHI (2021). *Cirrus - fjädermoln | SMHI*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/cirrus-fjadermoln-1.31791> [2021-11-16].
- SMHI (u.å.). *Kvävedioxid | Referenslaboratorium för tätortsluft - modeller vid SMHI*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/reflab/om-luftfororeningar/luftfororeningar/kvavedioxid-1.19620> [2021-10-28].
- Swedavia AB (2020a). *Miljörapport 2019 - Stockholm Arlanda Airport*. SWED-1424720092-4. Tillgänglig: <https://www.swedavia.se/globalassets/arn/miljo-arlanda/miljorapportering/miljorapport-2019.pdf> [2021-09-27].
- Swedavia AB (2020b). *Miljörapport Visby Airport 2019*. SWED-2021188552-1217. Tillgänglig: https://www.swedavia.se/contentassets/d273f7fb4f0447b5ae35eab23ab6258f/miljoerapport_vby_2020.pdf [2021-09-27].
- Swedavia AB (2021a). *Miljörapport 2020 - Stockholm Arlanda Airport*. SDA 2021-00192. Tillgänglig: <https://www.swedavia.se/contentassets/300a57a110c140d8965cbdabb697da58/miljorapport-2020.pdf> [2021-09-27].
- Swedavia AB (2021b). *Miljörapport Visby Airport 2020*. SWED-2021138552-1357. Tillgänglig: https://www.swedavia.se/contentassets/d273f7fb4f0447b5ae35eab23ab6258f/miljoerapport_vby_2020.pdf [2021-09-27].
- Swedavia Airports (u.å.[a]). *Vad branschen gör*. Tillgänglig: <https://www.swedavia.se/omstallningen/vad-branschen-gor/> [2021-09-22].
- Swedavia Airports (u.å.[b]). *Miljö*. Tillgänglig: <https://www.swedavia.se/visby/miljo/> [2021-12-20].
- Swedavia Airports (u.å.[c]). *Mark och vatten*. Tillgänglig: <https://www.swedavia.se/malmo/miljo/mark-och-vatten/> [2021-09-02].
- Sveriges Miljömål (2018). *Preciseringar av Frisk luft - Sveriges miljömål*. Tillgänglig: <https://sverigesmiljomal.se/miljomalen/frisk-luft/preciseringar-av-frisk-luft/> [2021-09-13].
- Sveriges miljömål (2020). *Så fungerar arbetet med Sveriges miljömål - Sveriges miljömål*. Tillgänglig: <https://www.sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/> [2021-10-07].
- SVT (2021). *När lyfter flyget?* Tillgänglig: <https://www.svtplay.se/video/32734811/ekonomibyrans/ekonomibyrans-sasong-4-nar-lyfter-flyget> [2021-10-05].
- Synodinos, A, Self, RH & Martinez, AJ (2017). "Noise assessment of aircraft with distributed electric propulsion using a new noise estimation framework". *24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017*. London: International Institute of Acoustics och Vibration, IIAV. Tillgänglig: https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/53204/1/Thanos_ICSV2017.pdf [2021-12-09].
- Trafikanalys (2020). *Elflyg - början på en spännande resa - redovisning av ett regeringsuppdrag*. 2020:12. Tillgänglig: https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2020/rapport-2020_12-elflyg_borjan-pa-enspannande-resa.pdf [2021-08-31].
- Transportföretagen (2021). *Ett år med pandemin - rapport från en krisande svensk flygbransch*. Stockholm. Tillgänglig: <https://www.transportforetagen.se/globalassets/rapporter/flyg/ett-ar-med-pandemin-mars2021.pdf?ts=8d8e475ab597b80> [2022-02-01].
- Transportstyrelsen (2012a). *Frågor och svar om flyget och miljön*. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Vanliga-fragor-och-svar/> [2022-01-31].
- Transportstyrelsen (2012b). *Inför flygning - Transportstyrelsen*. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Flygresenar/Sakerhet/Fragor--svar-for-flygradda/Infor-flygning/> [2021-12-20].
- Transportstyrelsen (2013a). *Beräkning och mätning av flygbuller - Transportstyrelsen*. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Buller/Berakning-och-matning-av-flygbuller/> [2021-10-11].
- Transportstyrelsen (2013b). *Elbilar och buller - Förstudie om olyckor med tystgående elbilar*. Dnr TSG 2013-1401. Tillgänglig: <https://transportstyrelsen.se/globalassets/global/bilder/vag/miljo-och-halsa/elbilar-och-buller.pdf> [2021-10-11].
- Transportstyrelsen (2013c). *Flygets utsläpp*. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Klimat/Flygets-klimatpaverkan/Flygets-utslapp/> [2021-11-10].
- Transportstyrelsen (2019a). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om drift av godkänd flygplats (TSFS 2019:19)*. Tillgänglig: https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%5C%202019_19.pdf [2021-12-20].

- Transportstyrelsen (2019b). *Beräkna din flygresas utsläpp*. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Berakna-din-flygresas-utslapp/> [2022-02-23].
- Transportstyrelsen (2021). *Buller*. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Miljo-och-halsa/Buller/> [2022-12-10].
- Transportstyrelsen (2022). *Flygplatsstatistik*. Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Statistik/Flygplatsstatistik/> [2022-01-23].
- Transportstyrelsen, Försvarsmakten & Naturvårdsverket (2011). *Kvalitetssäkring av flygbullerberäkningar - Underlag för enhetlig tillämning*. Tillgänglig: https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/luftfart/miljo/kvalitetssakringsdokument_flygbuller.pdf [2021-10-11].
- UNEP (2021). *The Heat Is On - A world of climate promises not yet delivered*. Tillgänglig: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021> [2022-02-01].
- US EPA, O. (2016). *Basic Information about NO2*. Overviews and Factsheets. Tillgänglig: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2> [2021-10-28].
- Vattenfall (u.å.). *Batterilager i Uppsala | Vattenfall Eldistribution*. Tillgänglig: <https://www.vattenfalleldistribution.se/vart-arbete/kapacitetsutmaningen/batterilager/> [2021-10-06].
- Vattenmyndigheterna (u.å.[a]). *Miljö kvalitetsnormer för vatten*. Tillgänglig: <https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/miljokvalitetsnormer-for-vatten.html> [2021-12-07].
- Vattenmyndigheterna (u.å.[b]). *Tillståndet i vattnet*. Tillgänglig: <https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/tillstandet-i-vattnet.html> [2021-12-07].
- Vätgas Sverige (u.å.). *Bränslecellen - så funkar den!* Tillgänglig: <https://www.vatgas.se/faktabank/bransleceller/> [2021-11-26].
- Xiaohua Wu, Xiaosong Hu, Scott Moura, Xiaofeng Yin & Volker Pickert (2016). *Stochastic control of smart home energy management with plug.in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic*. ISSN 0378-7753. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877531631357X>.
- Yang Zhang, Pietro Elia Campana, Anders Lundblad & Jinjyue Yan (2017). *Comparative study of hydrogen storage and battery storage in grid connected photovoltaic system: Storage sizing and rulebased operation*. ISSN 0306-2619, ss. 397–411. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917303690> [2021-11-08].

A Appendix

A.1 Intervjufrågor

A.1.1 Intervju med Lena Wennberg och John Nilsson på Swedavia

- Vilka tror ni är de största utmaningarna för att flygplatser ska kunna hantera elflyg?
- På vilka flygplatser och flyglinjer kan ni se en introduktion av elflyg och var tror ni behovet är störst?
- Vilken typ av resor tror ni främst kommer ske med elflyg? Semester, affärsresor osv?
- Tror ni den största utmaningen är teknisk, politisk eller ekonomisk?
- Skulle ni vara intresserade av att göra förändringarna för att kunna ta emot kommersiell elflygtrafik? Inom vilken tidshorisont kan det aktualiseras?
- På er hemsida skriver ni att ni har strategi för elflyg och att ni ser över elförsörjning och infrastruktur kopplat till elflyg på era flygplatser, hur ser den strategin ut?
- Kommer laddstationerna för elflyget på Visby flygplats även kunna försörja större elflyg med passagerare?
- Hur länge kan ett inrikes flygplan stå på marken utan att det blir en för stor kostnad? Hur lång tid är det rimligt att det tar att ladda ett elflyg?
- Funderar ni på att investera i energilager (vätgas/batterilager) eller att införa egen produktion av el på flygplatserna? Har ni några andra planer för att minska effekttoppar?
- Skulle det kunna kombineras med användandet av vätgas som drivmedel för flygplanen?
- Vilka är de politiska beslut som ni tror kan ha störst effekt på flygsektorns miljöpåverkan?
- Finns det beslut på EU nivå som skulle göra omställningen lättare?
- Finns det några statliga incitament som skulle möjliggöra en förändring?
- Vilka frågor kring elflyget tror ni Swedavia kommer ha mest framgång i?
- Vad ser ni för prognoser på hur mycket av flygtrafiken som kommer trafikeras på elflyg?
- Hur stor del av satsningen mot fossilfritt flyg 2045 tror ni elflyg kan utgöra?

A.1.2 Intervju med Marie Hankanen på Transportstyrelsen

- Vad är din roll på Transportstyrelsen och hur jobbar du med miljöfrågor?
- Vilka frågor relaterat till miljö och flygsektorn jobbas det mest med i CAEP och på Transportstyrelsen?
- Hur ser CAEP på användandet av elflyg? Som jag förstått jobbar ni med att ta fram standarder och policys, hur ser man på att utveckla en standard för laddningsstationer, kontakter och dataöverföring så alla elflyg kan laddas på alla flygplatser? I och med att utvecklingen av elflyg till stor del sker av privata aktörer och många aktörer i samarbete med varandra.
- Tror du det finns risk att certifiering av elflygplan kommer bli ett hinder för utvecklingen? Är tillstånden anpassningsbara för vätgasdrivna flygplan? Blir det stor skillnad när man kommer över 19 passagerare?
- Kan det vara av intresse att ha ekonomiska hjälpmedel för att bygga ut energilager på flygplatser i stället för att bygga ut elnätet för att kunna täcka upp för effektoppar?
- Finns det någon miljökonsekvens i flygplatsområdet som du tror kommer bli sämre vid användandet av elflyg?
- Hur tror du resmönstret hos befolkningen kommer att ändras?
- Finns det säkerhetsfrågor som är relevanta för att kunna göra resandet med elflyg tillräckligt tillgängligt för smidigt resande? Tiden det motsvarar att borda ett flyg vs att ta ett tåg skiljer sig ganska mycket idag exempelvis.
- Hur mycket tror du flygbullernivåerna kommer ändras med användandet av elflyg om man jämför mot dagens flygplan? Om/när de andra utsläppen försvinner bör det bli ett av de största miljömässiga problemen, (sett till användning ej tillverkning)? Är ett scenario med lägre bullernivåer men mer frekvent buller rimligt? (Elflygen mindre passagerare, fler resor)
- Jobbar ni med att klimatanpassa flygplatser?
- Finns det någon viktig aspekt som påverkar miljön men som lätt glöms bort i diskussionen kring elflyg?

A.2 Beräkningar elförbrukning

Antal LTO			100%	60%	30%	10%
Flygplats	Inrikes 2019		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Arlanda	29 117		9706	5823	2912	971
Visby	4 680		1560	936	468	156
Kalmar	2 071		690	414	207	69
Skellefteå	1 368		456	274	137	46
Elförbrukning per scenario	100%	60%	30%	10%		
Flygplats	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	[MWh]	
Arlanda	6500	3900	1950	650		
Visby	1050	630	310	100		
Kalmar	460	280	140	50		
Skellefteå	310	180	90	30		
Skillnad i elförbrukning						
Flygplats	Årlig	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	
Arlanda	135939	4,8%	2,9%	1,4%	0,5%	
Visby	1908	55,0%	33,0%	16,2%	5,2%	
Kalmar	1358	33,9%	20,6%	10,3%	3,7%	
Skellefteå	1476	21,0%	12,2%	6,1%	2,0%	

A.3 Beräkningar luftföroreningar

A.3.1 Beräkningar med emissionsfaktorer

Fylgeregioner	Energiförbrukning elflyg: 0,67 Mwh per laddning	100%				60%				30%				10%					
		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4		
Arlanda	29 117	9706	5823	2912	971	Arlanda	6502,80	3901,68	1950,84	650,28	CO2	0,858	0,835	0,079	0,084	PM10	24,566	PM2,5	24,566
Skellefteå	1 368	456	274	137	46	Skellefteå	305,52	183,31	91,66	30,55	CO2								
Väsbö	4 680	1560	936	468	156	Väsbö	1045,20	627,12	313,56	104,52	CO2								
Kalmar	2 071	690	414	207	69	Kalmar	462,52	277,51	138,76	46,25	CO2								
Luftföroreningar som förbrukar:																			
100%																			
Scenario 1																			
Arlanda	5579,40	5431,38	510,68	544,14	3347,64	3258,83	306,41	326,48	CO2	1673,82	1629,41	153,20	163,24	CO	577,94	543,14	51,07	54,41	54,41
Skellefteå	262,14	255,18	23,99	25,57	157,28	153,11	14,40	15,34	CO2	78,64	76,55	7,20	7,67	CO	26,21	25,52	2,40	2,56	2,56
Väsbö	896,78	872,99	82,08	87,46	538,07	523,79	49,25	52,48	CO2	269,03	261,90	24,62	26,24	CO	89,68	87,30	8,21	8,75	8,75
Kalmar	396,85	386,32	36,32	38,70	238,11	231,79	21,79	23,22	CO2	119,05	115,90	10,90	11,61	CO	39,68	38,63	3,63	3,87	3,87
100%																			
Scenario 2																			
Arlanda	0,78%	0,57%	0,47%	0,56%	2,30%	0,34%	0,28%	0,40%	CO2	0,23%	0,17%	0,14%	0,20%	CO	0,08%	0,06%	0,05%	0,07%	0,07%
Skellefteå	3,83%	2,72%	5,58%	36,52%	1,73%	1,63%	3,35%	21,91%	CO2	1,15%	0,82%	1,67%	10,96%	CO	0,38%	0,27%	0,56%	3,65%	3,65%
Väsbö	2,88%	10,27%	8,75%	8,75%	1,73%	6,16%	5,25%	5,25%	CO2	0,87%	3,08%	2,62%	2,62%	CO	0,29%	1,03%	0,56%	0,87%	0,87%
Kalmar	14,02%	7,26%	6,03%	6,03%	8,41%	4,36%	3,62%	3,62%	CO2	4,21%	2,18%	1,81%	1,81%	CO	1,40%	0,73%	0,50%	0,50%	0,50%
60%																			
Scenario 3																			
Arlanda	0,78%	0,57%	0,47%	0,56%	2,30%	0,34%	0,28%	0,40%	CO2	0,23%	0,17%	0,14%	0,20%	CO	0,08%	0,06%	0,05%	0,07%	0,07%
Skellefteå	3,83%	2,72%	5,58%	36,52%	1,73%	1,63%	3,35%	21,91%	CO2	1,15%	0,82%	1,67%	10,96%	CO	0,38%	0,27%	0,56%	3,65%	3,65%
Väsbö	2,88%	10,27%	8,75%	8,75%	1,73%	6,16%	5,25%	5,25%	CO2	0,87%	3,08%	2,62%	2,62%	CO	0,29%	1,03%	0,56%	0,87%	0,87%
Kalmar	14,02%	7,26%	6,03%	6,03%	8,41%	4,36%	3,62%	3,62%	CO2	4,21%	2,18%	1,81%	1,81%	CO	1,40%	0,73%	0,50%	0,50%	0,50%
30%																			
Scenario 4																			
Arlanda	0,78%	0,57%	0,47%	0,56%	2,30%	0,34%	0,28%	0,40%	CO2	0,23%	0,17%	0,14%	0,20%	CO	0,08%	0,06%	0,05%	0,07%	0,07%
Skellefteå	3,83%	2,72%	5,58%	36,52%	1,73%	1,63%	3,35%	21,91%	CO2	1,15%	0,82%	1,67%	10,96%	CO	0,38%	0,27%	0,56%	3,65%	3,65%
Väsbö	2,88%	10,27%	8,75%	8,75%	1,73%	6,16%	5,25%	5,25%	CO2	0,87%	3,08%	2,62%	2,62%	CO	0,29%	1,03%	0,56%	0,87%	0,87%
Kalmar	14,02%	7,26%	6,03%	6,03%	8,41%	4,36%	3,62%	3,62%	CO2	4,21%	2,18%	1,81%	1,81%	CO	1,40%	0,73%	0,50%	0,50%	0,50%
10%																			
Scenario 4																			
Arlanda	0,78%	0,57%	0,47%	0,56%	2,30%	0,34%	0,28%	0,40%	CO2	0,23%	0,17%	0,14%	0,20%	CO	0,08%	0,06%	0,05%	0,07%	0,07%
Skellefteå	3,83%	2,72%	5,58%	36,52%	1,73%	1,63%	3,35%	21,91%	CO2	1,15%	0,82%	1,67%	10,96%	CO	0,38%	0,27%	0,56%	3,65%	3,65%
Väsbö	2,88%	10,27%	8,75%	8,75%	1,73%	6,16%	5,25%	5,25%	CO2	0,87%	3,08%	2,62%	2,62%	CO	0,29%	1,03%	0,56%	0,87%	0,87%
Kalmar	14,02%	7,26%	6,03%	6,03%	8,41%	4,36%	3,62%	3,62%	CO2	4,21%	2,18%	1,81%	1,81%	CO	1,40%	0,73%	0,50%	0,50%	0,50%

Faktiska utsläpp i KG					
Flygplats	2019				
	CO2	CO	NOx	HC	SOx
Arlanda	222227000	716000	959000	108000	82000
Skellefteå	2415000	6850	9370	430	70
Visby	2709000	31100	8500		1000
Kalmar	1439000	2830	5320	602	
G					
S1	S2	S3	S4		
PM10/PM2.5					
159745,64	95847,38	47923,69	15974,56		
7505,31	4503,18	2251,59	750,53		
25676,05	15405,63	7702,82	2567,61		
11362,20	6817,32	3408,66	1136,22		
S1	S2	S3	S4		
PM10/PM2.5					

Koldioxid

	Energiförbrukning				Faktiska utsläpp i KG Flygplats 2019
	MWh				
(transportstyrelsen) Energiinehåll (trafikanalys)	100%	60%	30%	10%	
3,16 kg CO2/Kg bränsle					
3700 wh/kg	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	
0,0037 MWh/Kg	6503	3902	1951	650	
	Arlanda				
	Skellefteå	183	92	31	
	Visby	1045	627	314	105
	Kalmar	463	278	139	46

Flygplats	CO2				Faktiska utsläpp i KG Flygplats 2019
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	
Arlanda	5553740	3332244	1666122	555374	222227000
Skellefteå	260931	156558	78279	26093	2415000
Visby	892657	535594	267797	89266	2709000
Kalmar	395020	237012	118506	39502	1439000
	100%	60%	30%	10%	
Flygplats	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	
Arlanda	2,50%	1,50%	0,75%	0,25%	
Skellefteå	10,80%	6,48%	3,24%	1,08%	
Visby	32,95%	19,77%	9,89%	3,30%	
Kalmar	27,45%	16,47%	8,24%	2,75%	

A.3.2 Beräkningar med IPCC faktorer

Flygbränsle inrikes		100%				60%				30%				10%				Inrikes LTO-medelflöta (kg/LTO)				Faktiska utsläpp 1 ton						
LTO	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	CO2	CO	NOx	HC	VOC	SO2	CH4	CO2	CO	NOx	HC	SOx	CO2	CO	NOx	HC	SOx	CO2	CO	NOx	HC	SOx		
Alanda	29 117	9706	5823	2912	971	2680,0	8,1	10,2	2,6	0,8	0,3	222227	716	959	108	82	2415	6,85	9,37	0,43	0,07	31,1	8,5	5,32	0,602	1		
Skellefteå	1 368	456	274	137	46							2709	31,1	8,5			2709	31,1	8,5			1439	2,83					
Visby	4 680	1560	936	468	156																							
Kalmar	2 071	690	414	207	69																							
Ton																												
Scenario 1																												
Alanda	26011,2	78,6	99,0	25,2	7,8	15606,7	47,2	59,4	15,1	4,7	7803,4	23,6	29,7	1,4	0,4	0,1	2601,1	7,9	9,9	0,5	0,1	1222,2	4,18	1,3	1,6	0,4	0,1	
Skellefteå	1222,1	3,7	4,7	1,2	0,4	733,2	2,2	2,8	0,7	0,2	366,6	1,1	1,4	0,4	0,1	0,4	418,1	1,3	1,6	0,4	0,1	185,0	0,6	0,7	0,2	0,1	0,1	
Visby	4180,8	12,6	15,9	4,1	1,2	2508,5	7,6	9,5	2,4	0,7	1254,2	3,8	4,8	1,2	0,5	0,2												
Kalmar	1850,1	5,6	7,0	1,8	0,6	1110,1	3,4	4,2	1,1	0,3	555,0	1,7	2,1	0,5	0,2	0,2												
Scenario 2																												
Scenario 3																												
Scenario 4																												
100%																												
Scenario 1																												
Alanda	12%	11%	10%	23%	9%	7%	7%	6%	14%	6%	4%	3%	3%	7%	3%	3%	1%	1%	1%	1%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Skellefteå	51%	54%	50%	276%	521%	30%	32%	30%	165%	313%	15%	16%	15%	83%	156%	37%	5%	5%	5%	5%	28%	52%	15%	13%	20%	13%	30%	
Visby	154%	41%	187%	298%	125%	93%	24%	112%	75%	75%	46%	12%	56%	89%	156%	37%	13%	13%	20%	13%	30%	12%	13%	20%	13%	30%	12%	
Kalmar	129%	198%	132%	298%	125%	77%	119%	79%	179%	39%	39%	59%	40%	89%	156%	37%	13%	13%	20%	13%	30%	12%	13%	20%	13%	30%	12%	