

Elektriskt flyg, dess laster och möjligheter

En komparativ analys

Ale Persson

Självständigt arbete

Huvudområde: Ekoteknik

Högskolepoäng: 15 hp

Termin/år vt/2022:

Handledare: Andreas Andersson

Examinator: Erik Grönlund

Kurskod/registreringsnummer: MÖ035G

Utbildningsprogram: Ekoingenjör

Förord.

Ett stort tack till Anne Sörensson och Hans Dunder för att jag fick möjligheten att genomföra detta arbete för att jag fått tillfälle att delta i flera evenemang samt workshops relaterat till ämnet samt hjälp vid kontakter med företag. Utan er hade det nog inte blivit något examensarbete för mig i år. Jag vill också tacka Torbjörn Skytt och Andreas Andersson för deras ihärdighet då jag vid flera tillfällen ville kliva av kursen. Tack till Torbjörn för att han kopplade mig samman med Anne och Hans på green flyway och tack till Andreas för att han så smidigt tog över rollen som handledare efter att Torbjörn sagt upp sig.

Sammanfattning.

Transportsektorn står för en stor del av de antropogena utsläppen av växthusgaser.

Det pågår en elektrifiering av delar av samhället som tidigare varit fossildrivna. Elektriskt flyg har potentiella fördelar mot andra transportmedel när det kommer till restid, relativt liten infrastruktur samt utsläppsnivåer. Det saknas dock studier som inkluderar batteriernas bidrag till flygets totala GWP samt aktuella utsläppsnivåer associerad till den svenska elmixen. Den här studien har undersökt hur resor med elektriskt flyg presterar i förhållande till andra kollektiva transportmedel med avseende på energiförbrukning, GWP, resetid samt pris och inkluderat batteriets bidrag till GWP. När det kommer till GWP och energianvändning så är det främst där det alternativa fordonet drivits av HVO100 eller haft förhållandevis långa vägar som E-flyget presterat bättre. Tidsmässigt så presterar E-flyg bäst på alla resor.

Prismässigt presterade E-flyget bättre än eller lika bra som alternativen på 3 av 11 rutter, en av dessa rutter präglades av en 425 km lång omväg för det alternativa fordonet. Fördelarna med elektriskt flyg rör framför allt områden där de alternativa transportmedlen drivs av diesel eller mindre miljövänligt drivmedel samt på sträckor där långa omvägar krävs. En potentiell fördel med flyget är att de kortare restiderna skulle kunna locka fler att åka kollektivt, men det har också potential att öka bilanvändandet och på så sätt öka utsläpp av växthusgaser.

Innehåll

1. Introduktion.....	6
2. Bakgrund.....	7
2.1 Green flyway	7
2.2 Elektriskt flyg	7
2.3 Batterier.....	8
2.4 Tidigare studier.....	8
3. Problemformulering, Syfte och frågeställning.	9
3.1. Problemformulering	9
3.2. Syfte.....	9
3.3. Frågeställningar	9
4. Metod	10
4.1. Avgränsningar.....	10
4.2 E-Flyg	11
4.3. Scandia klass II lågentré (buss).....	13
4.4. Tåg	13
4.5. Tesla model S 70D	13
4.6. Rutter.....	13
4.8. Intrahubb Rutter.....	15
4.9. Beläggingsgrad.	17
5. Uträkningar för GWP, energianvändning, tid och kostnad.	18
5.1. Elektriskt Tåg	18
5.2. Dieseltåg.....	19
5.3. Buss.....	19
4.4. E-Flyg och Tesla	20
5.4. GWP från Batteri.	20
5.5. Tid.....	22
5.6. Brytpunkt.....	23
5.7. Kalkyl pris.....	24
6. Resultat.....	27
6.1. Umeå-Östersund	27
6.2. Sveg-Röros.....	28
6.3. Sundsvall-Östersund-Trondheim.....	30
6.4. Trondheim – Åre.....	31
6.5. Strömsund - Östersund	32

6.6. Hammarstrand-Strömsund.....	33
6.7. Åre/Östersund Airport – Åre	34
6.8. Intrahubbesor	35
7. Diskussion.....	39
7.1.Validitet	41
8. Slutsats.	43
Referencer	44

Förkortningar

E-flyg = Elektriskt flyg

MTOW = Maximum take-off weight

GWP = Global warming potential, mäts i kg CO₂-ekvivalenter.

PKM = Person och km (som i kWh/ person och km)

VTOL = Vertikal take-off and landing, termen används för flygande fordon som kan landas vertikalt och därför inte behöver en lång landningsbana.

HVO100 = Biodiesel

RTT = Reella resetider (Real travel times)

SOH = State of health. Beskriver återstående batterikapacitet i förhållande till samma batteri i nyskick.

1. Introduktion

Sedan 1850 har netto utsläppen av koldioxid ökat och 2010 - 2019 var det årtionde med de högsta antropogena utsläppen.

I strävan efter ett samhälle där de antropogent härledda utsläppen av växthusgaser inte når nivåer som påverkar klimatet måste kraftiga reduktioner av utsläppen av växthusgaser uppnås. En ökad elektrifiering samt en ökad effektivitet i material/energianvändning är några av åtgärderna som krävs för att kunna sänka de globala antropogena utsläppen från 29 Gt CO₂-eq år 2020 till 3 Gt CO₂-eq år 2050 (Shukla, et al., 2022). Transportsektorn stog år 2019 för ca 15% av de antropogena utsläppen av växthusgaser (Shukla, et al., 2022). I utsläppsscenarioet där den globala uppvärmningen har begränsats till 1,5 grader Celsius av IPCC, har transporter minskat sina utsläpp med 59% jämfört med 2020 års siffror (Shukla, et al., 2022).

Av utsläppen från transportsektorn står vägtransporter för den största delen av utsläppen och de utgjorde 2014 70% av utsläppen från sektorn (European commission, u.d.). I Sverige står den kollektiva trafiken så som buss och tåg-trafik för ungefär 4,1% av Sveriges utsläpp av växthusgaser. En klimatvänlig flotta av kollektivtrafik är positivt i dubbel bemärkelse, dels i det uppenbart positiva med fordon med låga utsläpp då dessa kommer lämna ett lägre klimatavtryck i form av växthusgaser, men också i de andelar den kollektiva trafiken tar av resor som annars skett med bil, alltså passagerarna på en buss vilket annars hade tagit ett flertal bilar (WSP, 2018). Utvecklingen mot en miljövänligare fordonsflotta kan tex synas på försäljningen av bilar där den laddningsbara delen av nybilsförsäljningen i Sverige ökat sin andel från 11% 2019 till 32% 2020 (Trafikverket, 2021). För resor med kort till medellånga avstånd bedöms också elektriska flyg kunna bidra till att dra ner utsläppsnivåerna (Shukla, et al., 2022)

Det är inte bara växthusgaser som påverkas kraftigt av transportsektorn, den bidrar också till utsläppen av luftföroreningar och då framför allt kväveoxider, av vilket transportsektorn bidragit till mer än hälften av de totala utsläppen (European environment agency, 2021) av de andra vanligaste luftföroreningarna bidrar sektorn till mellan 10 -21% av utsläppen (European environment agency, 2021). Luftföroreningar påverkar både människan och miljön negativt då de bidrar till bla kortare livstid, försurning av sjöar men också klimatförändring (Naturvårdsverket, u.d.) De flesta av luftföroreningarna går att härleda till förbränningen av bränsle i förbränningsmotorer men föroreningar som PM₁₀ skapas främst vid slitage på väg ifrån dubbdäck (Naturvårdsverket, u.d.).

2. Bakgrund

Regeringen har ambitionen att Sverige ska bli det första fossilfria välfärdslandet i världen (Regeringskansliet, u.d.). Riksdagen har därför beslutat att utsläppen från inhemska transporter till 2030 ska ha minskat med 70% från 2010 års värden. Utsläppen från flyg har dock utelämnats ur dessa beräkningar då det bedrivs handel med utsläppsrätter på dessa (Transportstyrelsen, 2021).

I Östersunds kommun har man satt som mål att kommunen ska vara fri från fossila bränslen 2030, några steg som har tagits mot det målet är att göra den kommunala bilflottan fossilfri. Man har också satt som mål att göra den kollektiva trafiken i staden eldriven. På några av stadens busslinjer har detta redan implementerats (Bussbiljetter, 2022).

Ett annat initiativ för att nå målet är genom projektet Green flyway.

2.1 Green flyway

Green flyway är ett projekt vilket försöker skapa en internationell test-arena för elektriskt flyg samt autonoma flyg mellan Östersund, Röros och Trondheim (Östersunds kommun, 2021).

E-flyg visar stor potential för att binda ihop delar av de nordiska länderna där det annars kan ha varit för dyrt att bibehålla en välfungerande infrastruktur för transport (Green flyway, u.d.)

Projektet innefattar också att försöka optimera hangarer, laddningsutrustning och infrastruktur för att möta E-flygets behov på bästa sätt (Green flyway, u.d.)

2.2 Elektriskt flyg

Det finns ett flertal fördelar med E-flyg, avstånd är tex som kortast ”fågelvägen” i en rak linje mellan en punkt och en annan. Vissa av E-flygen kan dessutom färdas i hastigheter över 300 km/h (Viswanathan, 2021) vilket ger möjlighet för att förkorta restiden.

Det finns också potentiella fördelar med kortare reella resetider vilket delvis kan förklaras av att planen som på kort sikt planeras användas för den här typen av resor, plan som Heart ES-19 tex.

Klarar av att landa/lyfta från landningsbanor så korta som 750 m (FutureFlight, 2022). Det faktum att en så kort landningsbana krävs, samt att ljudnivån från de elektriska planen är mycket lägre möjliggör för dessa att starta/landa närmare samhällen (Smedberg, et al., 2021).

Många av de elektriska flygen kan starta och landa vertikalt, vilket ytterligare minskar behovet av en lång landningsbana.

Elektriskt flyg har alltså potentialen att behålla de snabba transporterna som flyg innebär men med mycket lägre utsläppsnivåer då de utsläpp eller de luftföroreningar som härleds till förbränningsmotorer eller vägslitage inte är aktuella med flygtransporter.

Även för resor inom städer finns det alternativ så som Volocoptern, vilket möjliggör resande som undviker bilköer eller potentiella byten av linjer/transportmedel. Dess VTOL-funktion samt att den på 75 meters avstånd har en ljudnivå på 65 dB(a) (Boelens, 2019) gör den till ett potentiellt alternativ för trafik i mer bebyggda områden. Då riktvärdena från buller ifrån flygplatser säger att ljudnivåerna från

flygtrafik inte bör överstiga 70 dB(a) vid en bostadsbyggnads fasad (Riksdagen, u.d.) ger det ett spann som gör det möjligt att landa på vertiporter i närhet till stadsmiljö som vid tågstationer eller busstationer och fungera som en luftburen taxi.

Vertiporter går att jämföra med en helikopterplatta för start/landning för VTOL-fordon med plats att parkera dessa samt infrastruktur för att ladda fordonen.

För landsbygd skulle en utökad användning av elektriskt flyg kunna innebära en ökad möjlighet till resor mellan övriga landsorter eller städer med snabbare transporter. Då VTOL funktionen möjliggör landning på förhållandevis liten yta kan det också innebära att kostnaden för tillhörande infrastruktur kan bli relativt låg i förhållande till att anlägga en ny väg/järnväg.

Autonoma transporter så som drönare har också stor potential då dessa kan utrustas med tex hjärtstartare och en direktlänk till medicinskt kunnig personal för att snabbt kunna bistå personer i nöd. Drönarna kan också användas vid olika typer av eftersök då de kan utrustas med tex värmekameror (Dunder, et al., 2019).

Fördelarna med elektriskt flyg när det kommer till miljöpåverkan är att energin som driver farkosternas bidrag till GWP kan härledas till den lokala elmixen, vilket i Sverige samt Norge, där stor del av elproduktionen är baserad på förnyelsebar energi skulle kunna ge relativt låga utsläpp.

Elektricitet producerad av fossila bränslen kommer fortfarande att innebära större belastningar på miljön.

2.3 Batterier.

Utsläppen för drift av de elektriska flygen är dels beroende av utsläppen associerade med elproduktionen för att driva planen. Batteriernas utsläpp kommer också att spela en viss roll då de måste bytas ut med tiden. Ett batteri tas vanligtvis ur bruk när det har en SOH på 80% (Huixin, T. 2020 refererat till i (Seyed, et al., 2021)). Företag som Heart Aerospace uppskattar att batterierna till deras plan ska klara mellan 1000 - 3000 Laddningscykler (Heart aerospace, u.d.). Då produktionen av batterier till elektriska fordon kan bidra med 61 – 107 kg CO₂-eq per kWh's kapacitet (Emilsson & Dahllöf, 2019) kan det utgöra ett väsentligt bidrag till E-flygets totala utsläpp.

2.4 Tidigare studier

En studie som gjordes i Finland visar att baserat på deras energimix så har elektriska flygplan en klar fördel mot konventionellt flyg med avseende på både CO₂-eq/pkm samt i RTT. Fördelarna emot tåg och bil var dock beroende på avståndet och vilken typ av flygplan man använde sig av (Baumeister, et al., 2020)

Då Finlands elproduktion år 2021 till ungefär 10 % producerades av fossila bränslen så som torv, olja, naturgas och kol (Energia, u.d.), innebär det att om samma resor med samma flygplan hade gjorts med en svensk energimix hade E-flygets klimatpåverkan minskat då elektriciteten som producerats i Sverige inte produceras från fossila bränslen Elproduktion (SCB, u.d.).

RISE gjorde en liknande studie för svenska förhållanden. Även i den var e-flygen att betrakta som vinnare ur ett klimatperspektiv (Apanasevic, et al., 2021). I den studien kunde dock skillnader i GWP för elektriciteten till tåg och E-flyg återfinnas i rapporten. Detta kunde härledas till att metoden för att räkna ut tågets klimatavtryck använt sig av data från 2016 (Larsson & Kamb, 2018). Datan för att räkna ut klimatavtrycket för elektriciteten för el-flyg källhänvisades aldrig men datan överensstämmer med GWP/kWh för år 2017 (Energimyndigheten, 2018). Detta kan ha lett till att tågets utsläpp av CO₂-equivalenter överdrivits kraftigt då det skiljer 77 gr CO₂-eqv/kWh i datan mellan åren. När Rise's studie nämns i resten av den här studien så är det denna studie som det hänvisas till.

3. Problemformulering, Syfte och frågeställning.

I avsnittet nedan presenteras problem som identifierats i tidigare studier eller luckor i dessa, studiens syfte samt frågeställningar.

3.1. Problemformulering.

Ingen av de granskade studierna behandlar möjligheterna eller kostnader som associeras med VTOL-farkoster. Inte heller behandlar någon av studierna den GWP som associeras med produktionen av batterierna som lagrar energin till transportmedel. Den studie som finns som jämför elektriskt flygande med övriga transportmedel för svenska förhållanden har orättvist jämfört GWP från elektricitet för tåg med GWP för elektricitet för flyg.

3.2. Syfte

Syftet med den här studien är att klargöra effektiviteten hos det elektrifierade flyget jämfört med annan transport för att på så sätt bidra till att stimulera implementeringen av teknik för att minska transportsektorns bidrag till den globala uppvärmningen.

3.3. Frågeställningar

Hur presterar elektriskt flyg som ett transportmedel för kollektiv trafik på rutter mellan städer och samhällen i green flyways projektområdes närhet samt inom städer jämfört med annan kollektiv trafik med hänsyn till:

- Energiåtgången
- Utsläpp av CO₂-equivalenter
- Tid
- Kostnad

4. Metod

4.1. Avgränsningar

Heart es-19 valdes som elektriskt flygplan i denna studie för att senare kunna undersöka hur GWP från batteriet påverkar GWP per resa och resande i förhållande till RISE studiens resultat.

Då Heart ES-19 beräknas vara certifierad för kommersiellt flyg år 2026 (Heart Aerospace, 2022) är utgångspunkten att resorna som sker i den här studien utspelar sig efter 2026.

Valen av de övriga e-flygen har valts ut ifrån eller via Green flyways catalog of electrification of aviation från 2020 (Desloovere, 2020). Kriterierna som användes var att de ska ha kommit till teststadiet. Därefter har alternativ som har som planerad användning att fungera som taxi eller liknande sorterats ut som urval. Alternativ där det bara funnits plats för en passagerare/pilot har sorterats bort med resonemanget att många resenärer initialt skulle kunna känna osäkerhet för att åka med förarlösa luftburna farkoster. Därefter har information om farkosterna sökts i litteraturen, producenternas hemsidor, övriga hemsidor relaterat till elektriskt flyg. Där alternativen har varit snarlika har ytterligare urval gjorts baserat på vilken data som finns att tillgå som var användbar för studien så som kWh's batterikapacitet och energianvändning under användning och dylikt. Slutligen har även alternativ som bara påvisat en flygtid på några minuter sorterats bort till förmån för de med mer tid i luften. För resor som inte gjorts med flyg har befintliga rutter, priser och restider använts för att jämföra med E-flyget. De alternativa transportmedlen som har jämförts med E-flyg har begränsats till Tåg, buss och en bil av märket Tesla.

Alla valutaomvandlingar som gjorts i den här studien har gjorts enligt följande värden;

Dollar= 9,61 kr 25/04 2022 (XE, 2022).

NOK= 1,052 SEK 04/05 2022 (XE, 2022).

Angående batterierna så tas det i den här studien bara hänsyn till det procentuella urladdningsdjupets effekt på antalet laddningscykler som batteriet klarar av in i beräkningarna, andra faktorer så som temperatur och laddnings/urladdningshastighet utesluts. Kostnaderna för nya batterier är heller inte inkluderade i denna studie. Pris och avstånd på tåg/buss-rutter har alla samlats in för resor mellan 5 - 9 maj samt den 28:e Juni för resor till Åre. Den valda resan har baserats på den som bäst överensstämmer med tåg/bussnr för rutterna som identifierats i NCM calc 4,0. För tåg har avbokningsskydd inte ingått i priset och priset är för en vuxen passagerare.

De flygande fordon som valdes ut för den här studien presenteras nedan.

4.2 E-Flyg

Heart es-19



Figur 1. Visar ett Heart ES-19 flygplan. Med tillstånd från Heart Aerospace (Anon, 2021.)

Producent: Heart aerospace

MTOW: 8600 kg

Passagerare: 19

Räckvidd: 400 km (FutureFlight, 2022).

Start/landning: konventionell

Hastighet: 300 km/h (Smedberg, et al., 2020)

Batterikapacitet: 720 kWh (Smedberg, et al., 2020)

Energianvändning: 1,57 kWh/km baserat på att planet har ca 50% batteri kvar efter att ha färdats 230 km (Forslund, 2020).

Pris: 100 000 000 kr. Baserat på antagandet om pris i RISE's studie.

I den här studien har ES-19 används på sträckor som överstiger 100 km och understiger 400 km. Det används också bara där det finns en flygplats med landningsbana.

Joby S4



Figur 2. Visar en Joby S4.. Courtesy of JobyAviation. (c) Joby Aero, Inc (Anon, u.d.).

Producent: Joby Aviation

MOTW: 2180 kg (Viswanathan, 2021)

Passagerare: 4 + pilot

Räckvidd: 240 km

Start/Landning: Vertikal

Kryssningshastighet: 322 km/h (Electric VTOL news, u.d.)

Batterikapacitet: 200 kWh (Viswanathan, 2021)

Energianvändning: 156 Wh/person och miles mätt vid full belägningsgrad (pilot inkluderad) och dess designade räckvidd (Viswanathan, 2021). Detta motsvarar 0.48 kWh/km

Pris: 15 400 000 kr. Ett antagande baserat på dess produktionskostnad på 12,3 miljoner (Electric VTOL news, u.d.) samt en vinst på 20%.

Den här farkosten används för sträckor mellan 20 - 150 km, VTOL funktionen gör att denna farkost kan användas även för resmål där flygplats saknas.

Volocopter 2X



Figur 3. Visar en Volocopter 2X. (Anon, 2017.)

Producent: Volocopter GmbH

MTOW: 450

Passagerare: 2 (pilot inkluderad)

Räckvidd: Maximalt 27 km (Polaczyk, et al., u.d.).

Start/Landning: Vertikal

Hastighet: 100 km/h

Batterikapacitet: 13 kWh. Baserat på energianvändningen per km multiplicerat med dess maximala räckvidd, avrundat till närmaste heltal.

Energianvändning: 0,46 kWh/km, baserat på att Volocoptern vid 70 km/h använder en effekt på 32 kW (Polaczyk, et al., u.d.) och räkna om enheterna till kWh/km genom följande ekvation.

$$1000\text{m/km} / (V/3,6) * P/3600 = E_{\text{km}}$$

E_{km} = Energi per km i kWh

V = hastighet i km/h

P= Effektanvändning i kW

Pris: 1 490 000 kr Ett antagande baserat på priset för en CH-77 Ranabot, en annan 2 sätes helikopter (Aeroexpo, 2022). Priset inkluderar motor och är avrundat till närmaste 10 000 tal.

Volocopters elektriska helikoptrar genomfört över 1000 testflygningar (Spinu, 2022), deras volocopter kan också snabbt byta ut hela batteriet vilket kan öka verksam tid för helikoptern då den inte behöver laddas längre perioder, samt minska det slitage på batteriet som snabbaddningar kan medföra.

Volocopter 2X i den här studien som en taxi inom staden eller mellan stadens flygplats och tåg/busstation.

4.3. Scania klass II lågentré (buss)

Bränslekonsumtion: 3 L/mil

Bränsle: HVO100

Passagerare: 50 st.

För resor med buss har antagandet gjorts att bussarna är av modell Scania lågentre klass 2 och drar ungefär 3 L per mil samt att de drivs av HVO100. Detta baserat på att de flesta av Länstrafiken Jämtlands bussar för resor utanför stad utgörs av denna modell samt att det är den ungefärliga bränsleförbrukningen hos en sådan. (Strömberg, 2022).

4.4. Tåg

För tåg anges ingen modell. Kalkylerna är baserad på den genomsnittliga energianvändningen per pkm från Sjövik vilket är 0,08kWh/pkm (SJ, 2012), Dessa är snarlika energianvändningen som anges på NMT calc 4,0 för en passagerare på ett intercitytåg med 50% beläggingsgrad och skiljer med mindre än 0,004 kWh/pkm (Transportmeasures, u.d.).

Dieseltåget drivs av HVO (Inlandsbanan, u.d.), här har antagandet gjorts att man med HVO menar HVO100.

Den genomsnittliga bränslekonsumtionen per pkm för dieseltåg i Europa är 25,2 g/pkm (Knörr, et al., 2016).

4.5. Tesla model S 70D

Producent: Tesla

Passagerare: 4 + Chaufför

Batterikapacitet. 65 kWh (Darcovich, et al., 2019)

Energianvändning: 0,188 kWh/km (Electric vehicle database, u.d.)

4.6. Rutter

För att kunna jämföra påverkan från olika kollektiva transportmedel valdes först 6 samhällen/städer ut inom ES-19's räckvidd från Östersund som fungerar som hubbar. Detta då Östersund (och andra

deltagande samhällen/städer) genom sitt deltagande i Green flyway lär vara pionjär-samhällen för implementerandet av elektriskt flyg och tidigt få lämplig infrastruktur för dessa. Hubbarna sträcker sig från svenska östkusten till norska västkusten för att ta i beaktande skillnaderna i utbudet av kollektiv transport mellan inlandet och kuststräckan. Banor för tåg är tex inte lika utbrett i Sveriges inland som det är närmare östkusten (Järnväg, u.d.). I de fall då dessa transportmedel inte haft rutter som täcker hela avståndet mellan några av dessa resmål har de uteslutits förutom för e-flyget som inte har rutter någonstans.

Samhällena/städerna som valdes ut var. Åre, Strömsund, Hammarstrand, Sveg, Östersund, Sundsvall, Umeå, Röros och Trondheim.

Rutterna som valdes ut var

- **Umeå – Östersund**

Bussresan går från Umeå till Dorotea, där sker ett byte till buss mot Östersund. Tågresan går från Umeå till Sundsvall, där sker ett byte mot tåg till Östersund.

- **Sundsvall – Östersund - Trondheim**

På den här ruten sker med E-flyget en mellan-landning i Östersund och eventuellt tåg/buss stannar också där för att sedan fortsätta mot Trondheim.

- **Sveg - Röros.**

På den här ruten fick man först ta inlandsbanan till Östersund, för att sedan ta ett tåg till Storlien, där skedde ett byte till tåg mot Trondheim och därifrån ett nytt byte för tåg mot Röros.

- **Strömsund-Östersund**

Inga byten.

- **Hammarstrand – Strömsund**

Bussen går först till Östersund, där görs ett byte för buss mot Strömsund.

- **Östersund – Åre**

Bussen går först från Åre/Östersund Airport till Östersunds busstation, där sker ett byte till buss mot Åre.

- **Trondheim – Åre**

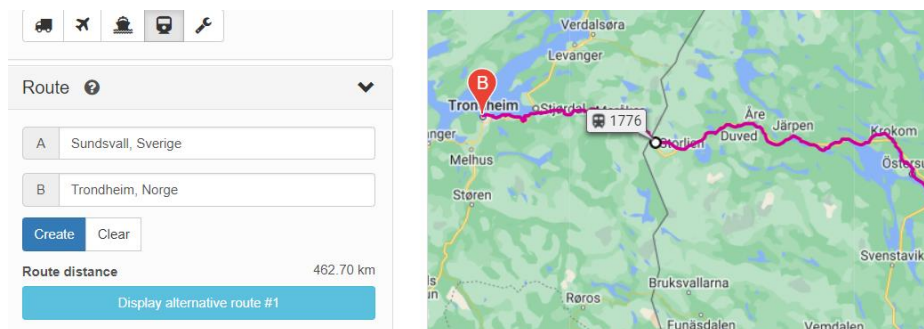
Tåg från Trondheim till Storlien, byte i Storlien till tåg mot Åre.

På resor med Heart ES-19 har resan gått mellan orternas flygplatser. För Joby S4:an har resorna gått mellan orternas Vertiporter vilka placerades ut vid respektive orts busstation/tågstation efter samma metod som presenteras i kap 4,8.

För att ta tillvara på skillnaderna i rest sträcka mellan de olika transportmedlen användes NTM calc 4,0 (Transportmeasures, u.d.). NTM calc 4,0 hittar rutter mellan de önskade resmålen och anger vilket transportmedel som finns att tillgå för resan ex, tåg eller buss mm samt tåg/buss nr. NTM calc 4,0 anger också om och var byten förekommer samt den resta sträckan i km. För resor med E-flyg så har NTM calc 4,0 bara använts för flyg med Heart ES-19 då NTM calc 4,0 bara inkluderar flygresor med flygplan. NTM calc 4,0 anger den sträcka som ett flygplan troligen måste färdas mellan resans start och resmålet då det sällan är detsamma som det stora cirkelavståndet (Transportmeasures, u.d.). För resor med Joby S4:an användes google earth för att mäta avståndet mellan resmålen, 15% av sträckan lades också till på ruten för att kompensera för avvikelser från den raka vägen och ger på så sätt ett spann.

För resor mellan städer och samhällen användes tåg och buss som alternativ i den mån det finns rutter mellan resmålen. Rutterna med kortast sträcka valdes ut.

I ruten mellan Sveg och Röros kunde ingen resa hittas med tåg mellan Trondheim och Röros i NTM calc 4,0. Det existerar dock en tåg rutt mellan punkterna (Vy, 2022) men här har antagandet gjorts att sträckan med tåg motsvarar sträckan med buss 440 som går mellan dessa punkter.



Figur 4. Visar en del av ruten mellan Sundsvall och Trondheim framtagen i NTM calc 4,0 , det totala avståndet för resan samt transportmedel (tåg).

Då Heart Es-19 kräver en landningsbana på 750m används den bara till/från resmål där en sådan finns.

Annars är transportmedlen uppdelade på sträckorna efter

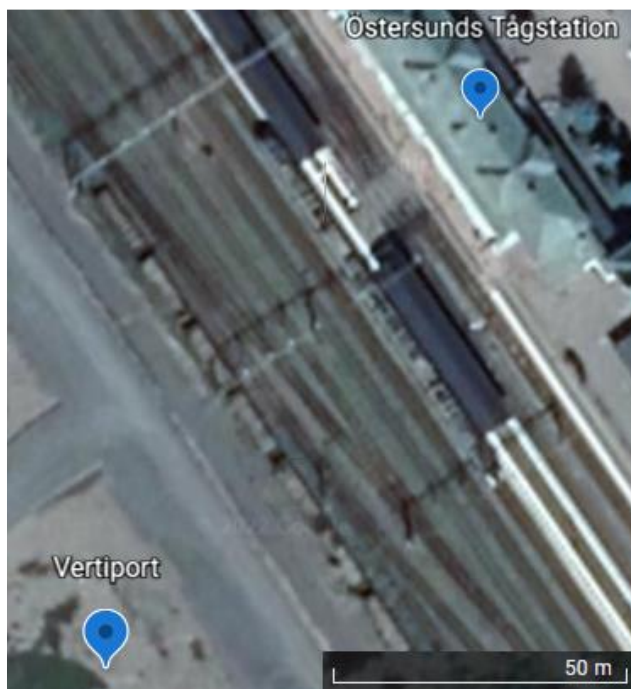
Heart ES-19 > 100 km

150 km > Joby S4 > 20 km

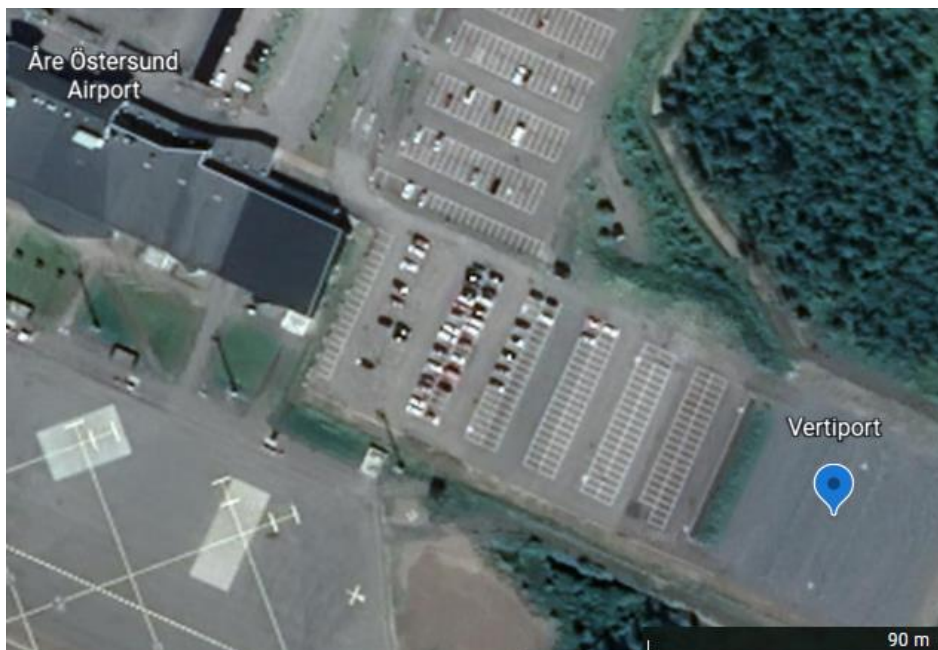
Volocopter 2X < 20 km

4.8. Intrahubb Rutter

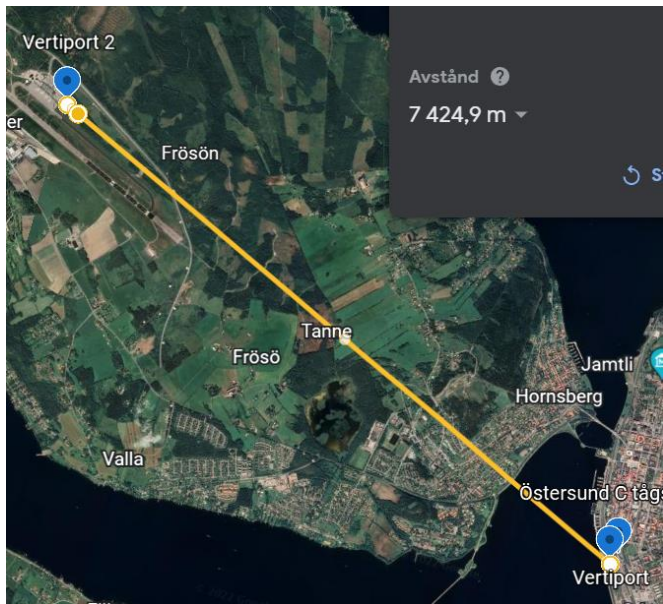
Hubbarna för Volocopter (hädanefter benämnt som Vertiport) i Östersund placerades i anslutning till Tågstationen samt Åre/Östersund airport.



Figur 5. Visar Vertiport placering i förhållande till Tågstationen



Figur 6. Visar Vertiport i förhållande till Åre/Östersund Airport.



Figur 7. Visar Vertiporterna i förhållande till varandra samt avståndet emellan dom.

Google earth användes för att mäta avståndet mellan de båda Vertiporterna. Också på dessa resor lades en marginal på 15 % av sträckan till för att kompensera för eventuella avvikelser från den optimala raka vägen och ger på så sett ett spann.

Samma metod användes i Sundsvall mellan Sundsvall C och Sundsvall-Timrå Airport.

Samt i Sveg mellan Sveg station och Härjedalen-Sveg Airport och mellan Åre station och Molanda flygplats (Åre)

Vertiporter placerades också i anslutning till busstationerna i Hammarstrand och Strömsund för Joby S4:an.

För Teslans rutter användes google maps vägbeskrivningsfunktion för att hitta närmaste rutt mellan Station och flygplats samt för att bestämma avstånd och restid.

4.9. Beläggingsgrad.

För att veta hur stor del av resans totala last som varje passagerare ackrediteras har beläggingsgrader angetts för respektive transportmedel. Det baseras på det tänkta antalet passagerare delat på det maximalt möjliga antalet passagerare.

Antalet passagerare per resa för E-flyg redovisas nedan:

Heart es-19: 12 passagerare, 65% beläggingsgrad baserat på beläggingsgraden för inrikesflyg 2012 (Karyd, 2013)

Volocopter 2X: 1,5 passagerare= 75% beläggingsgrad.

Joby S4: 3 passagerare, 75% beläggingsgrad.

Beläggingsgrad/passagerarantal för Volocopter och Joby S4 är helt baserat på antaganden.

Volocopter 2X har egentligen bara plats för 1 pilot och en passagerare, den är dock möjlig att framföra utan en pilot på plats och kan därför tänkas ta 2 passagerare. Antagandet har gjorts att det initialt kommer krävas en pilot på plats för att folk ska våga flyga med den men att det med tiden kommer bli lättare för folk att acceptera att flyga ”förlöst” därför har 1,5 passagerare angetts.

För buss har beläggingsgraden matchats med miljöbarometerns statistik för beläggingsgrad för subventionerad kollektivtrafik för året 2018 (Miljöbarometern, 2022) med hänsyn till att Covid-19 inte påverkat resultaten från det året. Statistiken från kommunen där resan börjar har använts som beläggingsgrad för den specifika resan.

För tåg har ingen beläggingsgrad tagits i åtanke då data på Energiåtgång per pkm fanns tillgänglig eller kunde räknas ut på annat sätt.

Då Tesla model S 70D ska fylla samma funktion och täcka samma rutt som Volocopter 2X har samma antal passagerare använts.

Tesla model S 70D: 1,5 passagerare = 37,5% beläggingsgrad.

5. Uträkningar för GWP, energianvändning, tid och kostnad.

Metoden för att räkna ut GWP och energianvändning för respektive transportmedel har skilt från transportmedel till transportmedel, de redovisas nedan.

5.1. Elektriskt Tåg

För att räkna ut GWP och energianvändning för elektriskt tåg har följande formler använts.

$$E = P * D \quad (1)$$

E = Energi för resan per person i kWh

P = Energiåtgång per pkm. Vilket för SJ's tåg är 0,08 kWh/pkm (SJ, 2012)

D = Distans i km.

Sedan räknades GWP per resa ut genom formeln

$$G = E * C \quad (2)$$

G = GWP per resa och person

C = GWP per kWh elektricitet, nordisk elmix = 0,047 kg (Energimyndigheten, 2018)

Från Storlien och vidare in i Norge har C för den norska elmixen använts vilket motsvarar 0,049 kg/kWh (Svea, 2020)

5.2. Dieseltåg

För Dieseltåget har antagandet gjorts att HVO100-användningen per pkm överensstämmer med den genomsnittliga dieselanvändningen per pkm för tåg i Europa. GWP och energianvändning räknats ut genom formlerna nedan:

$$F * D = H. \quad (3)$$

F = Diesel per pkm enligt Europasnittet = 25,2 g/pkm (Knörr, et al., 2016).

H = HVO100 per resa och person i gram.

Densitet hos HVO100 = 780 g/L (Sverige, 2019).

$$H/780 = M = \text{HVO per person och resa i liter.} \quad (4)$$

GWP per resa.

$$G = M * A \quad (5)$$

A = GWP från HVO100 = 0,695 kg per/liter (Enerimyndigheten, 2021).

Energi per resa

$$E = E_h * M \quad (6)$$

E_h = Energi per liter HVO = 34,1 MJ/L (Enerimyndigheten, 2021).

5.3. Buss

För resorna med buss har GWP'n räknats ut genom att först räkna om bussens bränsleförbrukning till liter/km, vilket blir 0,3L. Därefter har uträkningen skett följande.

HVO per resa

$$Q * D * (P_g * B_g)^{-1} = M \quad (7)$$

Q = Bränslekonsumtion per km i liter

P_g = Passagerarkapacitet

B_g = Beläggingsgrad

Energi per resa.

$$M * E_h = E \quad (8)$$

GWP per resa.

$$M * A = G \quad (9)$$

4.4. E-Flyg och Tesla

För alla typer av flyg samt för Tesla'n har ekvationen sett likadan ut:

$$P * D * (P_g * B_g)^{-1} = E \quad (10)$$

$$B + E * C = G \quad (11)$$

B = GWP från batteri per resa och resande.

5.4. GWP från Batteri.

För att räkna ut batteriets inverkan på GWP har antagandet gjorts att de elektriska flygen drivs av litium jon batteri av typen NMC, vilket är bekräftat för Joby S4:an (Blain, 2021). Detta då dessa har en högre energitäthet/kg än tex litium jon fosfat batterierna (BatteryUniversity, 2021) vilket är viktigt för E-flyg då vikten på batteriet utgör en stor del av farkostens totala vikt. Eftersom litium jon batterier gynnas av låg variation i batteriets kapacitet, alltså att det gynnas av att inte laddas ur eller laddas upp med stora variationer (Electronicdesign, 2008) antas det att batteriet kommer att laddas efter varje landning.

För att kunna räkna ut GWP per resa härledd till batterieproduktionen måste antalet resor/laddningar under batteriets livslängd fastställas.

Ett genomsnitt på avstånden som täcks av de respektive e-flygen för rutterna i denna studie räknades ut då det antagits att farkosten inte kommer att täcka enbart en specifik rutt. Det procentuella djupet på urladdningen för medelavståndet har därefter räknats ut genom formeln.

$$D * E / B_k * 100 \quad (12)$$

B_k = Batterikapacitet (lagringskapacitet i kWh)

Antalet cykler ett NMC batteri klarar av innan det har 80% av dess orginalkapacitet kvar varierar beroende på urladdningsdjupet efter följande tabell (Miao, et al., 2019)

Urladdningsdjup	Laddningscykler
100%	300–600
80%	400–900
60%	600-900
40%	1000-3000
20%	2000-9000

Det genomsnittliga urladdningsdjupet för respektive farkost på resor utan 15% tillägg på sträcka redovisas nedan:

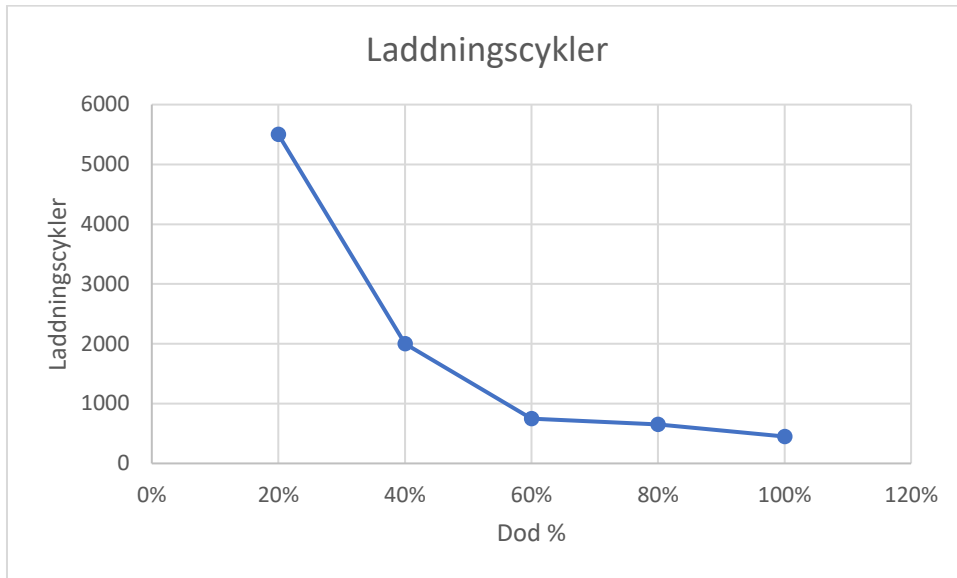
Heart ES-19 47,2%

Joby S4 23,2%

Volocopter 2X 41,5%

Då antalet cykler varierar för varje procentuellt urladdningsdjup har medelvärdet använts.

Ex. 20% urladdningsdjup ger $(2000+9000)/2= 5500$ cykler. För att kunna räkna på värden mellan de jämna 10-talen så antogs ett linjärt samband mellan punkterna. Resultatet redovisas nedan.



Figur 8. Visar antalet laddningscykler beroende på urladdningsdjupet.

Räta linjens ekvation:

$$Y = kx + m$$

Användes för att räkna ut antalet laddningscykler men där närmaste underliggande jämna procenttal användes som utgångspunkt och antalet laddningscykler på den punkten användes som m – värde. K-värdet räknades ut mellan varje par punkter genom att dela skillnaden i Y-värdet med skillnaden i x-värde. Ett exempel för uträkningen för k-värdet mellan 20 och 40%’s urladdningsdjup:

$$(5500-2000)/(20-40) = -175.$$

Ett exempel på uträkningen för urladdningscykler på 23,2% urladdningsdjup:

$3,2 * -175 + 5500 = 4940$. Eftersom att m-värdet (5500) motsvarar Y-värdet (antalet laddningscykler) vid närmast underliggande jämna tiotal så kunde 20-talet tas bort och bara entalet och decimal multipliceras med k-värdet. Därav 3,2.

Antalet laddningscykler för respektive fordon redovisas nedan:

Heart ES-19 = 1556

Joby S4 = 4940

Volocopter 2X = 1900 .

Jämfört med batteriproduktion ifrån Kina och USA mm har den Europeiska produktionen varit bättre med hänsyn till GWP och beräknas vara 65kg/kWh (Kelly, et al., 2020). Batteriproduktionen har antagits ha europeisk ursprung för den här studien och därför har 65 kg CO₂-eq/kWh använts.

För att räkna ut GWP per resa och resande för respektive fordon användes följande formel

$$65 * B_k * (L * P_g * B_g)^{-1} = B \quad (13)$$

B = GWP(kg) per resa och resande från batteri.

L = Laddningscykler

En kanadensisk studie visade att batteriet hos en Tesla kan driva bilen i minst 55 280 km per år vilket var medelsträckan per år för en taxi som kör 1 skift om dagen, under en taxis livslängd vilket angavs till 6 år (Darcovich, et al., 2019). Därför har GWP från teslans batteri delats upp på sträckan taxin skulle färdas under 6 år om medelsträckan per år överensstämmer med sträckorna i den kanadensiska studien samt antalet passagerare per resa.

B för teslan (hädanefter benämnt B_T) räknades därför ut genom följande ekvation.

$$65 * 65 / (55\,280 * 6 * P_g * B_g) = B_T \quad (14)$$

B_T = GWP från teslans batteri per rest km.

För resor med Joby S4 och Volocopter 2X så räknades skillnaden i total GWP för resor med 15% längre resväg och de utan 15% längre resväg (refererat till som marginal) ut genom att räkna ut GWP för resor med 15% längre resväg och subtrahera GWP för samma resa fast utan de extra 15% i resväg.

5.5. Tid.

För E-flyg har restiden räknats ut genom att dela den resta sträckan med kryssningshastigheten på transportmedlet i m/s enligt formeln:

$$T = D_m / (V / 3,6) \quad (15)$$

T = Tid i sekunder

V = kryssningshastighet i km/h

D_m = Avstånd i meter

Då ingen acceleration eller deceleration identifierats hos nått av de luftburna fordonen har tilläggstid applicerats till resorna. För ES-19 har ett tillägg på 10 min lagts till för att kompensera för transport till och från själva start/landningsbanan samt för att kompensera för acceleration och deceleration mellan stillastående och kryssningshastighet. För Joby S4 användes en tilläggstid på 6 min och för Volocopter 2X, 2 min för att kompensera för acceleration och deceleration samt hovrande i start och landning.

För ES-19, tåg och buss och Joby S4 har också restid lagts till för att ta sig till och från Station/flygplats, passera säkerhetskontroll och dylikt.

För ES-19 lades 1,5 timmar till för att ta sig till flygplats, och passera säkerhetskontroll och checka in bagage. Samma tid lades till för att ta sig ifrån flygplatsen. Vid fråga om byte mellan flyg så lades 1 timma till då ingen resa till eller från flygplats behöves inkluderas i det.

För Buss och Tåg användes de faktiska restiderna mellan hubbarna/bytena, restiderna presenteras vid köp av biljetter En halvtimma har lagts till för att ta sig till samt från buss/tågstation samt mellan varje byte.

För Tesla'n har den uppskattade restiden från google maps vägbeskrivningsfunktion använts.

5.6. Brytpunkt

För att ta reda på vid vilka avstånd E-flyget är gynnsamt för med avseende på GWP ställdes ekvationer för att räkna ut GWP per resande mot varandra. Då tågets GWP per pkm har varit det lägsta, har det när E-flyg har ställts mot tåg, antalet km tåget måste färdas för att nå samma GWP som kunnat allokeras till passageraren för en resa ifrån batteriet först räknats ut.

$$B/(P*C) = D \quad (16)$$

Formell 16 visar uträkning för vid vilket avstånd tågresan har släppt ut samma mängd växthusgaser som batteriet.

Sedan har hur mycket längre tåget måste färdas per flugen km räknats ut utöver antalet km som tåget måste färdas för att kompensera för batteriets GWP. Uträkningen demonstreras nedan.

$$(P/(B_g * P_g))/P * 100 = K \quad (17)$$

K = Hur långt tåget måste färdas i förhållande till E-flyg mätt i %.

Färgad text indikerar uppgifter från E-flyg, Svart text indikerar uppgifter från Tåg.

För Dieseldrivet tåg samt buss har först GWP per km räknats ut genom att i fallet med dieseldrivet tåg

$$F/780 * A = U_{Tåg} \quad (18)$$

$U_{Tåg}$ = GWP per km för dieseldrivet tåg.

För Buss är:

$$U_{buss} = 0,3/(B_g * P_g)^{-1} * A. \quad (19)$$

U_{buss} = GWP per km för buss.

När GWP per km var uträknat kunde brytpunkten, där E-flygets GWP för resan blir lägre än för alternativet räknas ut genom att ställa ekvationer för att räkna ut GWP från respektive fordon som en funktion av färdad sträcka mot varandra enligt följande.

$$B + (P * C (P_g * B_g)^{-1}) D = D * U_{buss} \quad (20)$$

D löstes ut för att få ut avståndet vid brytpunkten enligt nedan.

$$B/(U_{buss} - P * C(Pg * Bg)^{-1}) = D \quad (21)$$

D = Beskriver i det här fallet brytpunkten i km. U_{buss} byts ut mot $U_{tåg}$ för att räkna ut brytpunkten för E-flyg mot dieseltåg.

Då GWP från teslan är linjärt beroende av antalet km den färdas så har brytpunkten mellan Volocoptern och Teslan räknats ut genom följande ekvation.

$$B / ((B_T * P * C(Pg * Bg)^{-1}) - (C * P(Bg * Pg)^{-1})) = D \quad (21)$$

5.7. Kalkyl pris.

För flyg har samma metod som i RISE rapporten använts där priset per resa har bestämts av Avskrivningskostnader för farkost, underhåll av farkost, personalkostnader samt kostnader för bränsle och flygplats-avgifter. Underhållskostnaderna för ES-19 räknades ut genom att multiplicera priset för ES-19 med 1,5, vilket är vad man antas få betala underhåll under ett plans livstid (Apanasevic, et al., 2021). Då elektriska plan antas kosta 20-50% mindre i underhåll (Apanasevic, et al., 2021) har 35% dragits från underhållskostnaderna och sedan delats med antalet resor planet gör under 30 år om det gör 4 resor om dagen.

Kostnaderna för vardera gällande ES-19 redovisas nedan.

$$\begin{aligned} \text{Avskrivningskostnader} &= \text{Pris}/(\text{antalet resor under sin livslängd}) = 100\,000\,000/(30 * 365 * 4) \\ &= 2283 \text{ kr/Resa Baserat på antagandet att ES-19 har en livslängd på 30 år.} \end{aligned}$$

$$\text{Underhållskostnader} = 2226 \text{ kr}$$

Personalkostnader har baserat på att piloternas snittlön 2020 var 69100 kr/månaden (Facket, u.d.) . Arbetsgivaravgifter inkluderades vilket motsvarar 31,42% av bruttolönen (Skatteverket, u.d.) Pilotkostnaderna per resa har då räknats ut baserat på hur mycket piloten kostar per år delat med mängden resor som görs under ett år med respektive transportmedel. Antalet redovisas nedan och är baserat på antaganden om 5 dagars arbetsvecka samt 47 veckors arbete per år.

$$\text{Heart ES-19} = 940 \text{ (4/dag)}$$

$$\text{Joby s4} = 1880 \text{ (8/dag)}$$

$$\text{Volocopter 2X} = 3760 \text{ (16/dag)}$$

Heart ES-19 styrs av 2 piloter så för resor med ES-19 har pilotkostnaden per resa dubblerats.

Flygplats-avgift = 1000 kr baserat på antagandet i RISE's studie.

Joby S4:ans landningsavgift på vertiporter har satts till 290 kr baserat på

Eskilstuna flygplats allmänna landningsavgift för flyg med en vikt på över 2000 kg. Volocopters landningsavgift sattes till 175 kr baserat på att det är Eskilstuna flygplats' s landningsavgift för flyg med vikt upp till 2000 kg (Eskilstuna flygplats, u.d.).

Avskrivningskostnader för farkost har fastställts genom att dela kostnaden för farkosten med dess livslängd i år samt antalet resor den beräknas göra per år. För Joby S4 och Volocopter 2X har livslängden satts till 8 år baserat på att det är den uppskattade livslängden för en lilium jet (Els, 2022) Joby S4:an antas göra 8 resor om dagen och Volocopter 2X 16 resor om dagen.

Underhållskostnader för lätt flyg har uppskattats genom att sätta ett fast antal arbetstimmar per rest timma. För lätt flyg brukar ett spann på 0,25-1 h/ flygtimme användas (Raymer D 2018 refererat till i (Brown & Harris, 2020)). Den generella kostnaden per timme för arbetet ligger mellan 53 - 67 USD/h (Raymer D 2018 refererat till i (Brown & Harris, 2020)). För den här studien har 0,25h/flygtimme använts då elektriska motorer generellt har ett lägre servicebehov (Plötner, 2013).

Kostnaden per servicetimme har antagits vara 60 USD per timme. Detta resulterar i en underhållskostnad på 144 kr/ flygtimme.

Alla kostnader har delats upp över antalet passagerare på resan.

Priset för elektricitet för e-flygen är satt till 4 kr / kWh för att på så sätt på sikt betala av Vertiporterna och laddnings infrastruktur på flygplatsen.

Priserna för tåg är för sträckan:

Sveg – Östersund = 420 kr (Inlandsbanan, 2022)

Sundsvall - Östersund = 339 kr (SJ, 2022)

Östersund – Trondheim = 469 kr (SJ, 2022)

Trondheim – Röros = 418 (Vy, 2022)

Umeå – Östersund = 618 kr (Sj, 2022)

Trondheim – Åre = 302 (Norrtåg, 2022)

Priserna för Buss är för sträckan:

Umeå – Östersund = 388 kr (Resbot, 2022)

Strömsund – Östersund = 198 kr (LTR, 2022)

Hammarstrand – Strömsund = 300 kr (LTR, 2022)

Östersund – Åre = 191 kr (Resbot, 2022)

Åre/Östersund Airport – Östersund busstation = 90 kr (Vy, 2022)

Priserna för taxiresor med Teslan är baserat på:

Taxi Östersunds taxa för resan mellan Östersunds tågstation och Åre/Östersunds Airport (Taxiostersund, u.d.).

Taxi Sundsvalls tariff för resan mellan Sundsvall station och Timrå Airport (Taxisundsvall, u.d.).

Mohlins taxis taxa för resan mellan Sveg station och Sveg Airport för en delad bil (Mohlinstaxi, u.d.).

Åre taxis tariff för resan mellan Åre station och Molanda flygplats (Taxi Åre, u.d.).

Mer detaljerade uträkningar för GWP, energianvändning, batteriers bidrag till GWP, tid, kostnad samt rutternas avstånd för respektive transportmedel kan ses i bifogad Excell-fil.

6. Resultat

Resultaten presenteras rutt för rutt nedan. Resultaten för intrahubbbresor presenteras tillsammans.

6.1. Umeå-Östersund

För resan mellan Umeå och Östersund kan vi i figur 7 utläsa att tåget, med utsläpp på 1,9kg är det färdmedel som bidrar med minst utsläpp.

ES-19's utsläpp är på 4,5 kg strax under bussens på 5,5 kg. För flyget är det på den här sträckan batteriet som utgör den största belastningen.

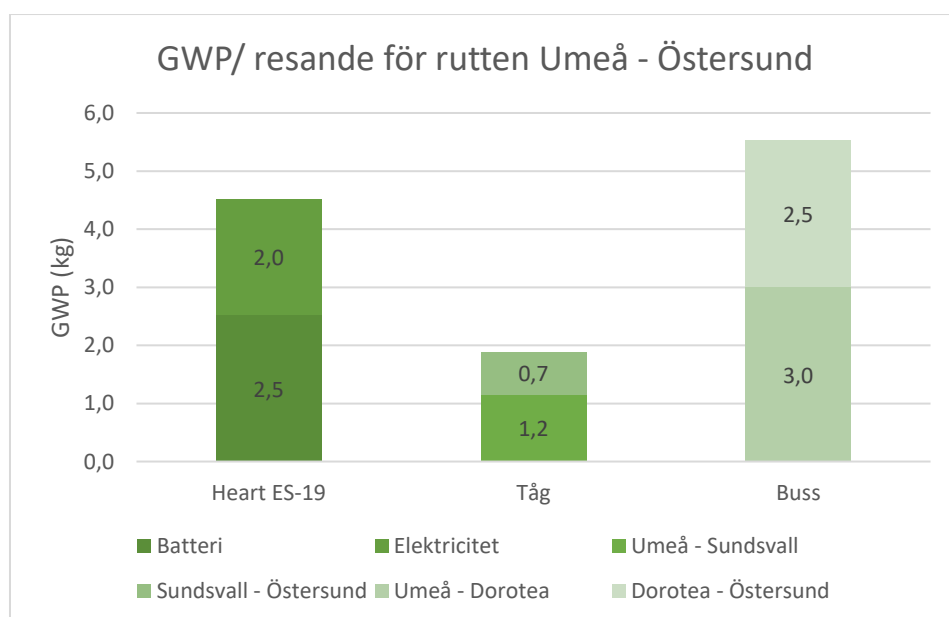


Figure 1. Visar skillnaderna i GWP per resande för de olika transportmedlen på rutten mellan Umeå och Östersund

I tabell 1 kan man utläsa att flyget är det snabbaste alternativet. Det är också alternativet med mest tid har gått förlorat i tillägg för att ta sig till och från flygplats. Tåg och buss har förlorat 01:30 timmar på att ta sig till och från buss/tåg, samt väntan mellan byten. Bussen är det alternativ som med sina 75 kWh kräver mest energi. Den drar 33 kWh mer än det näst mest energikrävande transportmedlet vilket var E-flyg. Restid och energiåtgång för resterande resor kommer att redovisas i en gemensam tabell.

Tabell 1. visar skillnader i restid och energianvändning mellan resmålen, ruttens byten samt tåg/buss-nr.

Restid	Umeå- Östersund	Umeå- Sundsvall 7413	Sundsvall- Östersund 7514	Umeå- Dorotea 63	Dorotea- Östersund 45	Tillägg/byte	Total Restid
ES-19	01:09					03:00	04:09
Tåg		03:12	02:26			01:30	07:08
Buss				03:05	02:50	01:30	07:25
Energianvändning							kWh
ES-19							42,39
Tåg							40,24
Buss							75,36

I tabell 2 syns det att kostnaderna för resan är som lägst om man tar bussen, följt av tåget och sist ES-19 med en kostnad på 886 kr, Störst del av kostnaden för ES-19 utgörs av kostnad för pilot.

Tabell 2. Beskriver kostnaden för resorna med respektive transportmedel. För ES-19 redovisas vad kostnaden utgörs av.

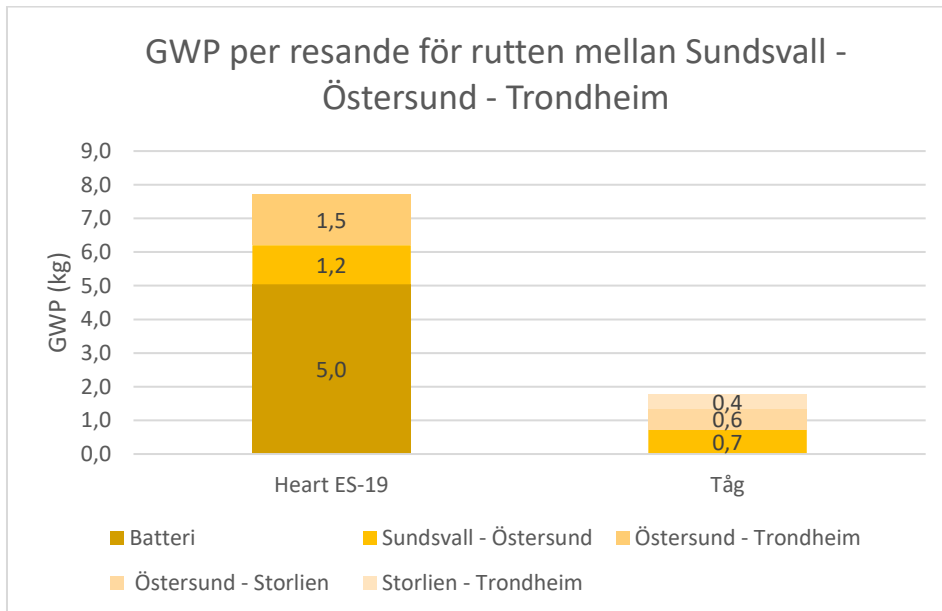
Umeå- Östersund							
Pris	avskrivningskostnad	Service	Pilot	Landning	El	Vinst	SEK
ES-19	190	186	193	83	184	10%	920
Tåg							618
Buss							388

6.2. Sveg-Röros

På resan mellan Sveg och Röros är det tåget, med utsläpp på 5,8 kg som släpper ut mest CO₂-ekvivalenter. Det framgår av figur 8 att det framför allt sträckan mellan Sveg och Östersund som bidrar till detta. Det förklaras av att tåget på den sträckan drivs av HVO100 och inte av elektricitet. För flyget är det även på den här resan batteriet som står för det mesta (2,5 kg) av flygets totalt 3,7 kg CO₂-ekvivalenter.

6.3. Sundsvall-Östersund-Trondheim

I figur 9 kan vi se att på resan mellan Sundsvall-Östersund-Trondheim släppte resan med tåg ut 1,7 kg CO2-ekvivalenter vilket var mindre än ¼ av flygets. På den här resan är batteriet den största utsläppsfaktorn med 5 av flygets totala 7,7 kg.



Figur 3. Visar GWP per resande med tåg och ES-19 för ruten Sundsvall-Östersund-Trondheim.

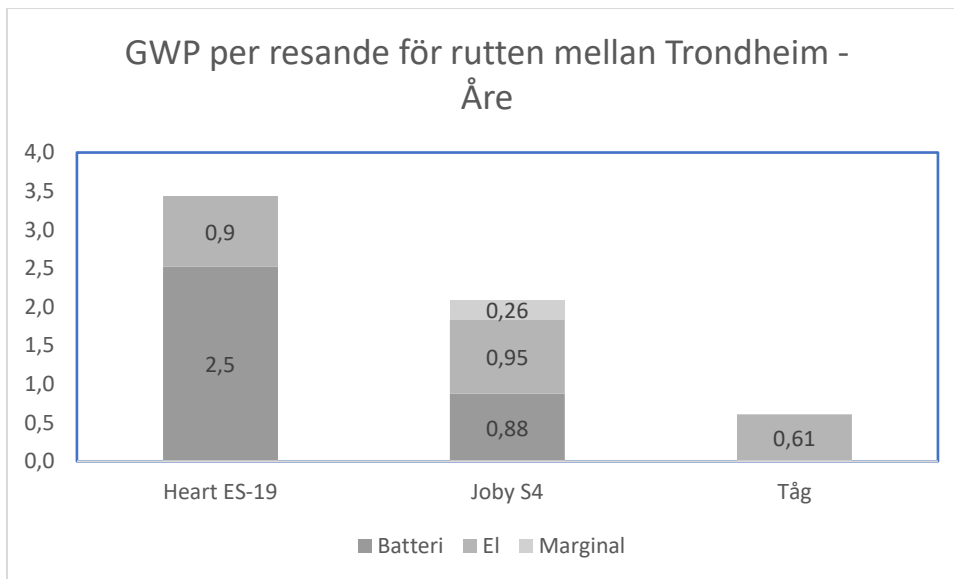
På ruten Sundsvall-Östersund-Trondheim var priset för resan med ES-19, vilket låg på 1683 kr, mer än dubbelt så dyr som den med tåget som kostade 808 kr vilket vi kan se i tabell 4.

Tabell 4. Visar kostnader för ES-19 samt tåg för resan. För flyg redovisas vilka kostnader som utgör priset och för tåg redovisas kostnaden för delsträckor.

	Avskrivningskostnad	Service	Pilot	Landing	El	Vinst	Total (SEK)
ES-19	380	372	386	167	225	10%	1683
Tåg Sundsvall-Östersund							339
Tåg Östersund-Trondheim							469
Totalt tåg							808

6.4. Trondheim – Åre

Figur 10 visar att för rutten Trondheim – Åre så är det tåget med utsläpp på 0,61 kg som presterar bäst ur ett utsläppsperspektiv. Joby S4:ans utsläpp är mellan 1,83-2,09 kg, här är den större delen av utsläppen härledda till själva energiproduktionen. Heart ES-19 bidrar med 3,4 kg växthusgaser, utsläppen från energiproduktionen är lägre än från ES-19 än från Joby S4:an men batteriproduktionen står för över 70% av utsläppen på denna resa.



Figur 10. Visar utsläpp associerat till respektive fordon från elektricitet samt batteri. Marginalen redovisar hur mycket högre utsläppen varit från en 15% längre färdsträcka.

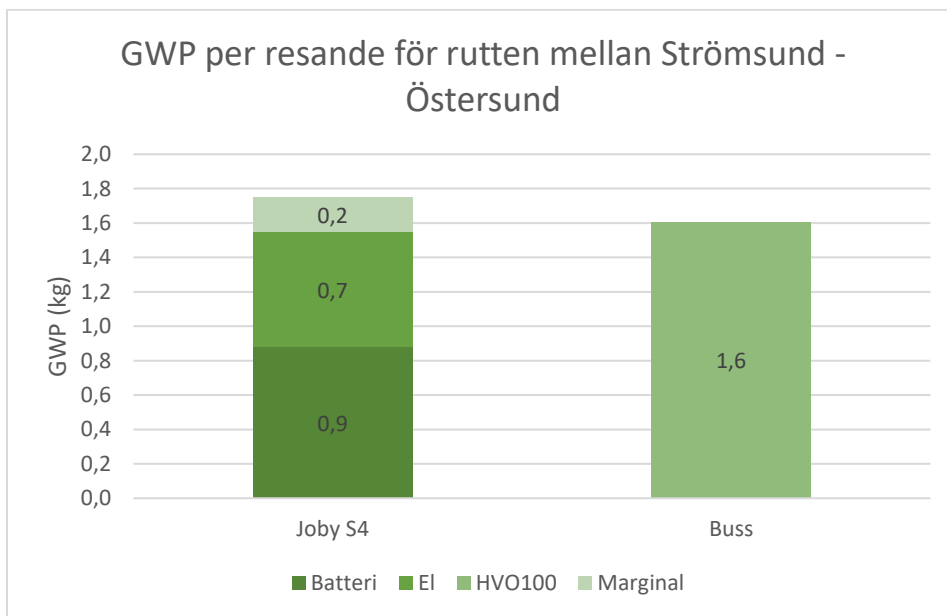
I tabell 5 syns att priset för resan med Heart ES-19 är 803 kr vilket är 20-22% högre än priset för samma resa med Joby S4:an. Lägst pris hade resan med tåg som med sina 302 kr understiger hälften av priset för både Heart ES-19 och Joby S4:an.

Tabell 5 Visar kostnader för respektive resa och transportmedel. För E-flyg redovisas också vilka kostnader som priset utgörs av.

Fordon	Service	Pilot	Avskrivningskostnader	Landning	El	Vinst	Total (SEK)
Heart ES-19	186	193	190	83	78	10%	803
Joby S4	23 - 26	193	220	97	80 - 92	10%	658 - 671
Tåg							302

6.5. Strömsund - Östersund

I figur 10 kan man utläsa att resan med Joby S4 visar utsläpp på 1,6 kg vilket är samma som resan med buss. Med marginalen uppgår utsläppen till 1,8 kg. Också här bidrar batteriet med de största utsläppen för flygresan.



Figur 4. Visar skillnad i GWP för resa mellan Strömsund och Östersund med en Joby S4 samt buss.

Kalkylerna visar att priset för resan med Joby S4:an, på 624 - 635 kr är 426 - 437 kr mer än resan med buss vilket vi kan se i tabell 6.

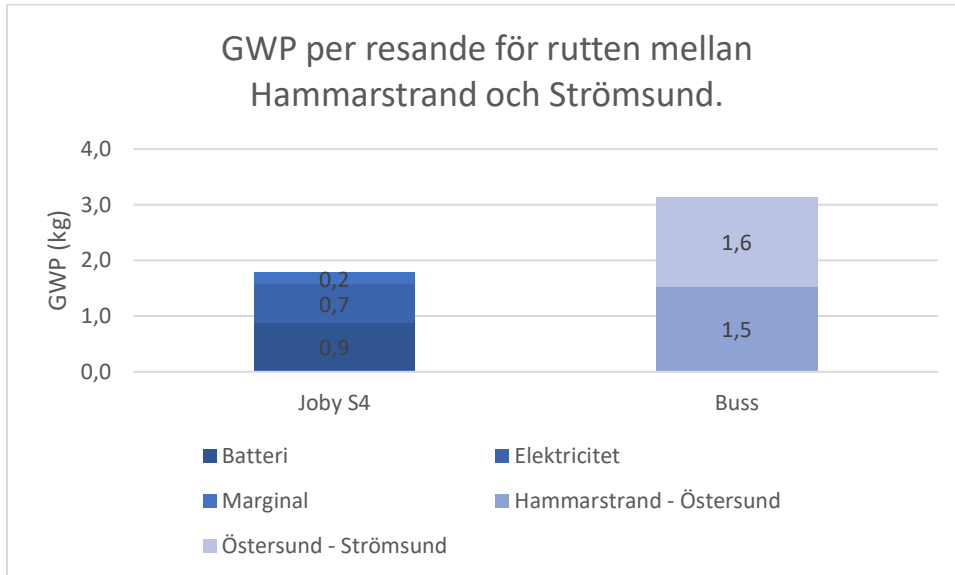
Tabell 6. Visar priset för respektive resa beroende på transportmedel. För flyg redovisas kostnaderna priset utgörs av.

Fordon	Service	Pilot	Avskrivning	Landningsavgift	El	Strömsund- Östersund 142	Vinst	Total (SEK)
Joby S4	18 - 20	175	220	97	57 - 65		10%	624 - 635
Buss 142						198		198

6.6. Hammarstrand-Strömsund

På den här ruten visar figur 11 att bussen bidrar med mest utsläpp (3,1kg)

Vilket är 1,5 - 1,3 kg mer än utsläppen från Joby S4:an.



Figur 5. Visar skillnad i GWP för resa mellan Hammarstrand och Strömsund med en Joby S4 samt buss.

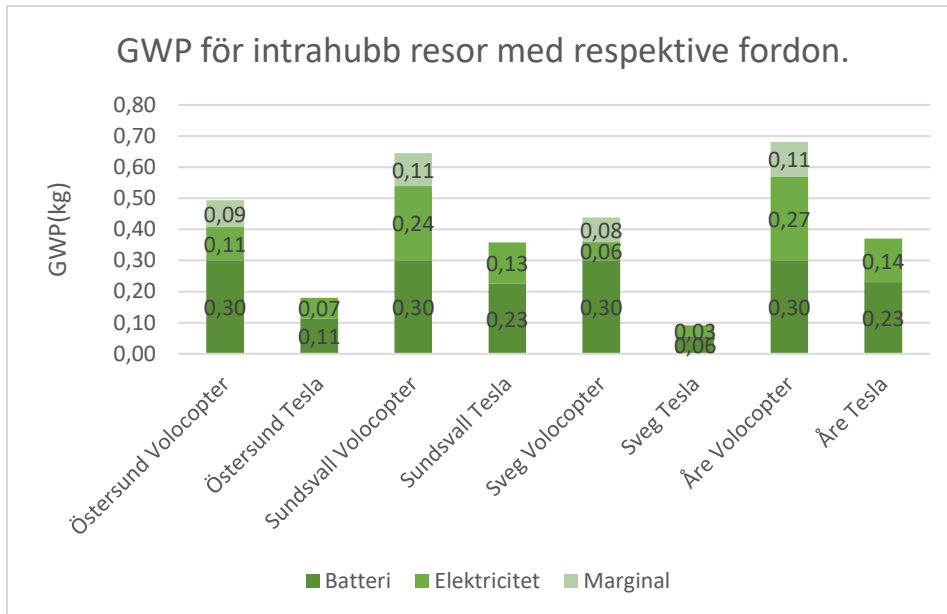
I tabell 7 kan man utläsa att priset för resan med en Joby S4, vilket är 626 - 638 kr vilket är 326 - 338 kr högre än priset för samma resa med buss.

Tabell 7. Visar priset för respektive resa beroende på transportmedel. För flyg redovisas kostnaderna priset utgörs av.

Fordon	Service	Pilot	Avskrivningskostnader	Landningsavgifter	El	Vinst	Total (SEK)
Joby S4	18 - 20	175	220	97	59 - 68	10%	626 - 638
Buss							300

6.8. Intrahubbresor

Figur 13 visar att gemensamt för alla resor är att Volocoptern står för en större mängd utsläpp än Teslan, utöver det så är också GWP från batteriets produktion som står för den större delen av utsläppen för alla resor.



Figur 13. Visar GWP för resorna inom hubbarna för respektive stad/samhälle samt transportmedel.

I tabell 9 kan man se att på resan i Sundsvall så var det billigaste alternativet beroende på var inom marginalen (spannet på avståndet) för Volocopter längden på resan blev, skillnaden mellan Tesla och Volocopter för resan är dock mellan 6-9 kr. För resan mellan Åre station och Molanda flygplats är Volocoptern det billigare alternativet, för resorna i Sveg och Östersund var Teslan det billigare alternativet.

Tabell 9: Visar kostnader för resa med respektive transportmedel.

Östersund jvst- Åre Östersund Airport	pilot	Service	avskrivning	landningsavgift	El	vinst	Summa (SEK)
Volocopter 2X	193	13 - 15	21,26	116,6667	9,07 - 10,47	10%	388 - 393
Tesla model s 70D							274
Sundsvall jvst-Timrå Airport							
Volocopter 2X	193	26- 30	21,26	116,6667	20,30 - 23,34	10%	415 - 430
Tesla model s 70D							424
Sveg stn- Sveg Airport							
Volocopter 2X	193	9 - 10	21,26	116,6667	5,03 - 5,78	10%	379 - 382
Tesla model S 70D							100
Åre stn - Molanda flygplats (Åre)							
Volocopter 2X	193	29,12 - 33,49	21,26	116,667	23,2 - 26,7	10%	422 - 430
Tesla model s 70D							513

I tabell 10 kan man se att flyget för alla resor var det snabbaste alternativet. Tåget har varit det minst energikrävande transportmedlet för alla resor mellan samhällen förutom mellan Sveg och Röros, för intrahubresor har Tesla model S70D varit det mindre energikrävande transportmedlet. Buss har för alla resor varit det minst energieffektiva transportmedlet.

Tabell 10: Visar Restid och energiförbrukning per resande och resa för respektive transportmedel.

Tid och energiförbrukning					
Sundsvall-Östersund-Trondheim					
				kWh	hh:mm
ES-19				56,7	05:47
Tåg				37,0	08:06
Umeå - Östersund					
ES-19				42,4	04:09
Tåg				40,2	07:08
Buss				75,4	07:25
Sveg - Röros					
Heart ES-19				25,1	03:48
Tåg				90,9	11:32
Strömsund - Östersund					
Joby s4				14,2 - 16,3	01:22- 01:33
Buss				22,7	02:40
Hammarstrand - Strömsund					
Joby s4				14,8 - 17,1	01:23- 01:35
Buss				44,4	04:50
Östersund - Åre					
Joby s4				11,9 - 15,1	00:50- 00:57
Buss				24,4	03:15
Trondheim - Åre					
Heart ES-19				19,5	03:40
Joby S4				20,2 - 23,2	01:29- 01:41
Tåg				13	03:50
Östersund jvstn - Åre/Östersund Airport					
Volocopter 2X				2,27 - 2,61	00:08- 00:09
Tesla model s 70D				1,42	00:13
Sundsvall jvstn - Timrå Airport					
Volocopter 2X				5,09 - 5,85	00:16- 00:18
Tesla model s 70D				2,82	00:19
Sveg Stn - Sveg Airport					
Volocopter 2X				1,26 - 1,45	00:05
Tesla model s 70D				0,71	00:08
Åre stn- Molanda flygplats					
Volocopter 2X				5,8 - 6,67	00:19- 00:22
Tesla model s 70D				2,93	00:25

För att komma upp i samma GWP som för batteriets bidrag till GWP kan vi i tabell 11 se att för att nå samma utsläpp som batteriet till Heart ES-19 för resorna i denna studie, ska ett eldrivet tåg färdas 67 mil och motsvarande siffra för batteriet till Joby S4:an är 11,7 mil. När tåget har kört den sträckan måste tåget köra 64% längre sträcka för att ha samma utsläpp som Heart ES-19 och dubbelt så långt som Joby S4:an.

Tabell 11. Beskriver hur långt ett eldrivet tåg måste färdas för att bidra med samma GWP som batteriet för resorna i denna studie, utöver det visar det också hur mycket av sträckan som E-flyg gör som tåget måste färdas för att bidra med samma GWP efter att ha färdats sträckan för att kompensera för batteriets GWP.

	Kompensation (km) för batteri				Kompensation (%) av sträcka
Tåg(el) - Heart ES-19	670				164%
Tåg(el) - Joby S4	117				200%

Brytpunkterna, alltså där E-flyg blir ett mer miljövänligt alternativ än de alternativa fordonen varierar mellan 6 - 27,1 mil vilket syns i tabell 12. De högsta värdena på brytpunkterna är vid jämförelse med Heart ES-19 och Volocopter 2X. Volocopterns räckvidd gör dock att brytpunkten mellan Teslan och Volocoptern aldrig kommer nås.

Tabell 12. Visar vid vilken sträcka utsläppen ifrån E-flyget blir lägre än för det alternativa transportmedlet.

	Brytpunkt (km)
Heart ES-19 - Buss	271
Heart ES-19 - Tåg(diesel)	156
Joby S4 - Buss	111
Joby S4 - Tåg(diesel)	60
Volocopter 2X - Tesla model S 70D	203

7. Diskussion

Resultaten indikerar att E-flyg som ett transportmedel när man inkluderar batteriproduktionens bidrag till GWP ändå har potential att bidra till mindre växthusgasutsläpp för de flesta av rutterna i denna studie där de alternativa transportmedlen i denna studie då dessa alternativ varit drivna av HVO100. Det innebär att det finns potentiella klimatmässiga vinster att göra på att implementera E-flyg som transportmedel åtminstone på sträckor där järnvägen inte finns tillgänglig eller där tågen drivs av HVO. E-flyget har på dessa sträckor haft utsläpp motsvarande 58% av alternativet på resan där flyget presterade bäst med avseende på GWP, till 112,5% på resan där de presterade sämst mot HVOdrivet fordon. Här bör också påpekas att HVO100 också är ett bränsle med relativt låga utsläpp. HVO100 bidrar till exempel bara med ungefär 1/4 av utsläppen som MK1 diesel bidrar till per liter (Enerimyndigheten, 2021). Värdena på brytpunkterna kan användas för att avgöra på vilka sträckor/rutter E-flyget skulle kunna vara klimatmässigt fördelaktiga. På sträckorna där tåget varit eldrivet har dock E-flyget presterat sämre på alla sträckor. Gränsvärdena visar också att det för Joby S4:an generellt krävs kortare sträckor för att med avseende på GWP prestera bättre än alternativet i förhållande till Volocoptern och Heart ES-19. I förhållandet till Heart ES-19 kan det förklaras av det lägre bidraget till GWP från batteriet än för Heart ES-19, då energiförbrukningen per person och km egentligen är lägre för Heart ES-19.

På sträckan mellan Sveg och Röros bidrog E-flyget med utsläpp som var 2,1 kg mindre än utsläppen ifrån tåget. För att ta sig med tåg mellan resmålen så var man tvungen att åka via Östersund och Trondheim vilket ger en resväg på 425 km längre än för E-flyget. På resan mellan Hammarstrand och Strömsund presterade flyget också bra, inte bara med avseende på GWP utan också tidsmässigt och med avseende på energiåtgång, den här ruten var också resan med alternativet (buss) präglad av en ganska lång omväg då den ruten gick först via Östersund.

När det kommer till skillnader i restid mellan fordonen så har E-flyget presterat bättre än alternativet på alla resor och det har rört sig om tidsbesparingar på 7 timmar och 44 min i fallet med mest tidsbesparingar till 1-3 minuter i fallet med minst tidsbesparing. Med avseende på energiförbrukningen så har E-flyget generellt presterat bättre än HVOdrivna fordon vilket var väntat då förbränningsmotorer generellt har lägre energieffektivitet än elmotorer (Fueleconomy, u.d.) När E-flyget jämförts med tåg så har passageraren på tågresan bidragit med en lägre energiförbrukning än den som tagit E-flyget, om inte tåget fått ta en lång omväg som i fallet med Sveg – Röros ruten där E-flyget har haft lägre energianvändning även om man helt tagit bort energianvändningen från den HVOdrivna delen av sträckan. Det är dock inte synligt i resultaten på energianvändningen men eftersom att GWP från el på den flygresan är lägre än GWP från den eldrivna tågsträckan och att GWP per kWh är detsamma för respektive transportmedel är det en slutsats man ändå kan dra. Priset har för E-flyget generellt varit

högre, det är främst på 3 av de 11 rutterna som priset varit samma eller bättre än alternativet, och 2 av de 3 resorna var för resor med Volocopter. Den 3:e var för resan mellan Sveg och Röros som präglades av långa omvägar och många byten för resan med tåg.

Det går inte att säga exakt vad det innebär för det kollektiva resandet då det inte går att väga potentiella fördelar med flyget mot dess potentiella nackdelar, men ett antal potentiella effekter kan beskrivas.

De potentiella fördelarna i tidsåtgång och pris lockar fler att åka kollektivt, E-flyget tar inte passagerare från buss och tågresor utan de som flyger representeras främst av de som tidigare tagit bil eller dylikt för resor då detta inte ger några tilläggstider för att ta sig till och från stationer och byten och dylikt samt inte tar onödiga omvägar. På rutter där priset för E-flyg är högre än alternativet är det möjligt att den flygande delen av populationen utgörs av mer välbärgade individer. Då priset för resor mellan olika samhällen tenderar att gynna E-flyget mer ju större skillnad i avstånd det blir mellan de konkurrerande fordonen, innebär det att de prismässigt mest gynsamma resorna för E-flyget också är de mest gynsamma med avseende på GWP då dessa också gynnas av större avståndsskillnader. Folk skulle alltså till en högre grad motiveras av priset för flyg på resor där det också är mest gynsamt med avseende på GWP. Det här scenariot skulle inte sänka kollektivtrafikens bidrag till GWP då det egentligen bara ökar mängden kollektivtrafik. Men det skulle också sänka utsläppen från trafik som inte sker kollektivt då det skulle minska antalet som tar egen bil vilket generellt släpper ut mer växthusgaser än tåg och buss (Klimatsmartsemester, u.d.) vilket på så sätt skulle kunna sänka de totala utsläppen från transport. För att med säkerhet kunna fastställa det skulle dock jämförelser med bil och E-flyg behöva göras där också batteriernas inverkan på GWP för flyg tas in i beräkningarna, men för att ge en uppfattning skillnaderna i utsläpp så släpper en medelstor bensindriven bil ut 167 gr CO₂-eq per km (Klimatsmartsemester, u.d.), om man delar Heart ES-19 's totala utsläpp per person för Rutten Umeå – Östersund med antalet resta km så släpper det ut 13,9 gram per km. Notera dock att bilresans utsläpp inte är delat på antalet passagerare.

De potentiella fördelarna så som tidsåtgång kan också locka fler att välja E-flyget som fordon för kollektiv trafik. De kan även locka folk utanför samhället som annars klivit på buss/tåg längst rutten. De skulle kanske i ett sådant scenario ta bilen till den lokala vertiporten eller flygplatsen istället för att kliva på bussen. Eftersom att efterfrågan på buss/tågtrafik fortfarande kommer vara opåverkad för folk som inte bor tillräckligt nära vertiport/flygplats för att de ska vara motiverade nog att ta bilen till dessa kommer det kunna innebära att om tillgången på buss eller tåg minskar som en följd av ökat flygande, ökar också resandet med bil för dessa för att nå resmålet. Då förutsättningarna för denna studie utspelar sig efter 2026 skulle det också kunna innebära att system för att öka samåkning är mer

utvecklade och implementerade vilket kan sprida utsläppen från bilresor på fler individer och på så sätt dra ner utsläppen från dessa bilresor. Påverkan från kollektiv trafik på GWP i ett sådant scenario beror dels på hur skillnaden i GWP för ruten för respektive transportmedel är men också hur stor del av trafiken som skiftar ifrån tåg/buss till flyg. Här tillkommer det ju också en del utsläpp ifrån persontrafik med bil tex vilket hade kunnat öka de totala utsläppen. Resan till flygplats/vertiport skulle dock också kunna ske med kollektiv trafik vilket inte bidrar med samma utsläpp.

Det finns också en risk att de generellt högre priserna med E-flyg gör att flyget inte brukas i så stor utsträckning hos befolkningen, också en risk att de rutter där de alternativa fordonen fått ta en lång omväg och alltså inte har en effektiv förbindelse mellan samhällena, har det just för att det inte finns tillräcklig efterfrågan mellan dessa resmål. Det skulle innebära att de resor där de potentiella fördelarna med avseende på utsläppsnivåer varit som störst, inte nyttjas i någon större grad och därför inte bidrar till någon större sänkning av utsläpp av växthusgaser.

För intrahubb resorna med Volocopter så var tidsförtjänsterna bara fråga om ett fåtal minuter, men då det på dessa resor var flera av rutterna där priset var liknande eller till och med lägre kan det på dessa rutter innebära att resande föredrar Volocoptern, och även om priset kanske skulle vara lite högre så skulle kanske upplevelsen av att flyga motivera den extra utgiften. Det skulle dock också innebära ökade utsläpp från den kollektiva transporten om man jämfört med Teslans utsläpp.

Huruvida en ökad frekvens av potentiellt lågt flygande farkoster kan komma att påverka omgivningen via tex ljud är dock inte fastställt än då de elektriska flyget generellt är tystare än andra flyg-farkoster, här får man också tänka på att en ökning av e-flyg skulle kunna dra ner frekvensen av tågresor, vilka har ljudnivåer på ca 85 dB(a) (Trafikverket, 2020) .

Skillnaden i energiförbrukning hos de eldrivna fordonen kan komma att spela en större roll för prisskillnaderna för resorna också då priset för el kan variera kraftigt i delar av landet (SCB, 2022)

Då kostnaderna för flygresorna var generellt högre än för övriga fordonen men lägre på resan inom Sundsvall samt mellan Sveg och Röros, kan det innebära att E-flyget, tills priserna sjunkit, kommer att användas mer av invånare med bättre ekonomiska förutsättningar. För resor där priset inte är högre med E-flyg kan detta jämnas ut.

7.1.Validitet

Antagandena som har gjorts angående energianvändning i drift är alla baserad på verklig data som finns att tillgå vilket ger en viss validitet till resultaten. Dock är den förenklad till en kWh/km enhet som inte tar hänsyn till eventuella skillnader i de olika faserna av flygningen. Beläggningsgraden för Heart ES-19 är baserad på verkliga siffror på inhemska flygresor men för Volocopter 2X och Joby S4 är de helt baserade på antaganden vilket kan dra ner säkerheten i dessa resultat.

Antaganden har också fått göras om typ av buss och tåg som trafikerar sträckorna, för att det inom tidsramen för den här studien inte hade gått att ta reda på vilka modeller som trafikerar vilka sträckor. För bussresorna är antagandena baserade på vad är mest sannolikt för närområdet, och i fallet med eldrivet tåg, är typen egentligen irrelevant, då den sannolika energianvändningen samt dieselanvändningen per resande redan finns tillgängligt. Detta innebar också att ingen hänsyn behövdes tas till beläggningsgraden för tåg då energianvändningen per pkm redan tagit det i hänsyn. Detta ger också validitet till resultaten. Beläggningsgraden för buss är baserad på verkliga siffror från 2018 vilket också ger en viss validitet.

Angående batteriernas bidrag till GWP så har i den här studien, hela batteriets bidrag till GWP tilldelats flygresorna som det genomförs. Det tar inte i hänsyn eventuella sekundära användningsområden för batteriet vilket fortfarande skulle ha 80% kapacitet kvar. Sekundära användningsområden skulle kunna vara tex att lagra energi när elektriciteten är billig för att sedan använda när den är dyr (Heart aerospace, u.d.). Batterier kan också användas för frekvens/spänningreglerande tjänster mot elnätet (EIA, 2018). Fördelningen av batteriets GWP hade kunnat spridas ut över de sekundära användningarna också, för att göra en mer rättvis jämförelse. Då batteriet stått för en majoritet av E-flygets utsläpp på resorna skulle det drastiskt kunna förändra E-flygets bidrag till GWP jämfört med de andra fordonen.

Priset för resorna är också uträknat efter en ganska enkel modell som inte tar hänsyn till tex pilotens arbetstid för respektive resa utan utgår från antalet resor hen antas göra per år för respektive fordon. Huruvida Eskilstuna flygplats avgifter för landning är representativt och applicerbart på landningar för Evtol-fordonen är också osäkert. Det är rimligt att kostnaderna för dessa fordon kommer att se annorlunda ut.

8. Slutsats.

Resultaten visar att e-flyget presterar bättre än alternativen när det kommer till restid för alla rutter i den här studien. Det rör sig om tidsskillnader på mellan 7 timmar och 44 minuter för resan mellan Sveg och Röros, till 1-3 minuter för resan med Volocopter i Sundsvall. När det kommer till utsläppen från resorna så presterade flyget bättre än alternativen på rutterna som präglats av långa omvägar med det alternativa transportmedlet samt där alternativet har varit buss eller dieseldrivet tåg. På resan mellan Strömsund och Östersund har det dock berott på hur lång marginalen på flygresan har varit. Gränsvärdena visar att Joby S4:an, med avseende på GWP, på kortare avstånd än Heart ES-19 blir det gynsammare alternativet när man jämför med de övriga fordonen. Det har i alla resor utom en varit utsläppen som ackrediterats batteriets produktion som varit den mest bidragande utsläppsfaktorn för e-flyg. E-flyg har på alla rutter utom Sveg – Röros samt Volocopter-resan inom Sundsvall samt Åre varit det dyraste alternativet, i fallet med Sveg-Röros resan präglades alternativet av en lång omväg för att nå målet. När det kommer till energiåtgången så har E-flyget presterat bättre än alternativet/alternativen där dessa har drivits av HVO100, alltså för rutterna mellan Strömsund-Östersund, Hammarstrand-Strömsund samt Sveg-Röros, på streckan mellan Sveg och Röros hade E-flyget presterat bättre även om alternativet inte var drivet av HVO100 delar av sträckan. Gränsvärdena kan användas för att finna rutter där det med avseende på GWP är gynsamt med E-flyg som verktyg för kollektiv transport. Implementeringen av elektriskt flyg har både potentialen att höja utsläppen ifrån kollektiv trafik, men samtidigt minska utsläpp ifrån persontrafik med bil tex. Det har också potentialen att minska utbudet av övrig kollektiv trafik och som en bieffekt av det också öka persontrafiken med tex bil och på så sätt höja de totala utsläppen från transport.

För framtida studier bör de monetära och miljömässiga kostnaderna för infrastruktur för transportmedlen bör också jämföras mot varandra. Hur de kortare restiderna som E-flyg erbjuder påverkar invånarens vilja att resa kollektivt, alltså hur mycket av resor med egen bil som E-flyget därför kan kompensera för. En modell för att allokalisera batteriets GWP på även dess sekundära användningsområden bör också tas fram för att på ett bättre sätt allokalisera dess GWP.

Referencer

Aeroexpo, 2022. *Helisport*. [Online]

Available at: <https://www.aeroexpo.online/prod/helisport-kompress-france/product-175677-15615.html>

[Använd 20 04 2022].

Apanasevic, T., Li, J. & Forzati, M., 2021. *E-flight: socio-economic analysis*, Stockholm: RISE.

BatteryUniversity, 2021. *Summary table of lithium based batteries*. [Online]

Available at: <https://batteryuniversity.com/article/bu-216-summary-table-of-lithium-based-batteries>

[Använd 20 05 2022].

Baumeister, S., Leung, A. & Ryley, T., 2020. The emission reduction potentials of First Generation Electric Aircraft (FGEA) in Finland. *Journal of transport geography*, 85(102730), pp. 4-7.

Blain, L., 2021. *Joby sets new record with 154.6-mile eVTOL flight*. [Online]

Available at: <https://newatlas.com/aircraft/joby-record-evtol-distance/>

[Använd 20 05 2022].

Boelens, J.-H., 2019. *Pioneering the urban air taxi revolution*, Bruchsal: Volocopter GmbH.

Brown, A. & Harris, W. L., 2020. Vehicle Design and Optimization Model for Urban Air Mobility.

Journal of Aircraft, 57(6).

Bussbiljetter, 2022. *Bussbiljetter*. [Online]

Available at: <https://www.bussbiljetter.nu/bussbolag/stadsbussarna-ostersund/>

[Använd 03 03 2022].

Darcovich, K. o.a., 2019. *The Feasibility of Electric Vehicles as Taxis in a Canadian Context*. Bucharest, Romania, IEEE.

Desloovere, W., 2020. *Electrification of aviation*, u.o.: u.n.

Dunder, H., Iversen, T. O. & Andersson, N., 2019. *Green Flyway - Testarena for autonome luftfartøyer, elektriske fly og UTM i Midt-Skandinavien*. [Online]

Available at: <https://www.ostersund.se/trafik-och-infrastruktur/hallbart-resande/green-flyway.html>

[Använd 18 03 2022].

EIA, 2018. *Batteries perform many different functions on the power grid*. [Online]

Available at: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34432>

[Använd 10 05 2022].

Electric vehicle database, u.d. *Tesla model s 70D*. [Online]

Available at: <https://ev-database.org/car/1033/Tesla-Model-S-70D>

[Använd 16 04 2022].

Electric VTOL news, u.d. *Joby S4*. [Online]

Available at: <https://dev.vtol.org/aircraft/joby-aviation/>

[Använd 14 04 2022].

Electronicdesign, 2008. *Proper care extends Li-ion battery life*. [Online]
Available at: <https://www.electronicdesign.com/markets/mobile/article/21190344/proper-care-extends-liion-battery-life>
[Använd 30 03 2022].

Els, P., 2022. *these are the challenges facing air taxis*. [Online]
Available at: <https://insights.globalspec.com/article/18347/these-are-the-challenges-facing-air-taxis>
[Använd 02 05 2022].

Emilsson, E. & Dahllöf, L., 2019. *Lithium-Ion Vehicle battery production*, Stockholm: IVL.

Energia, u.d. *Electricity generation*. [Online]
Available at:
https://energia.fi/en/energy_sector_in_finland/energy_production/electricity_generation
[Använd 04 03 2022].

Energimyndigheten, 2018. *Drivmedel 2017 redovisning av uppgifter enligt drivmedelslagen och hållbarhetslagen*, Eskilstuna: Energimyndigheten .

Enerimyndigheten, 2021. *Växthushasutsläpp*. [Online]
Available at:
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>
[Använd 20 04 2022].

EON, 2022. *Aktuella elpriser*. [Online]
Available at: <https://www.eon.se/el/elpriser/aktuella#fastelpris>
[Använd 13 05 2022].

Eskilstuna flygplats, u.d. *Välkommen till eskilstuna flygplats*. [Online]
Available at: <https://www.eskilstunaflygplats.se/information/>
[Använd 27 04 2022].

European commision, u.d. *Transport emissions*. [Online]
Available at: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions_en
[Använd 04 07 2022].

European environment agency, 2021. *Emissions of air pollutants from transport*. [Online]
Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-8>
[Använd 03 07 2022].

Facket, u.d. *Lön piloter*. [Online]
Available at: <https://facket.net/lon-piloter-mfl/>
[Använd 22 04 2022].

Forslund, A., 2020. *FAIR Webinar Heart Aerospace on the Technical Development of Electric Aviation*.
u.o.:FAIR.

Fueleconomy, u.d. *All-electric vehicles*. [Online]
Available at: <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>
[Använd 16 05 2022].

FutureFlight, 2022. *Heart electric airliner*. [Online]

Available at: <https://www.futureflight.aero/aircraft-program/heart-electric-airliner>

[Använd 14 03 2022].

Green flyway, u.d. *Charging infrastructure*. [Online]

Available at: https://greenflyway.se/test_arena/test-areas/charging-infrastructure.html

[Använd 18 03 2022].

Green flyway, u.d. *Electric aircraft and passenger drones*. [Online]

Available at: https://greenflyway.se/test_arena/test-areas/electric-aircraft-&-drones.html

[Använd 18 03 2022].

Heart Aerospace, 2022. *Electrifying regional airtravel*. [Online]

Available at: <https://heartaerospace.com/>

[Använd 26 05 2022].

Heart aerospace, u.d. *FAQ*. [Online]

Available at: <https://heartaerospace.com/faq/>

[Använd 15 03 2022].

Inlandsbanan, 2022. *Inlandsbanan*. [Online]

Available at: <https://res.inlandsbanan.se/alacarte-booking>

[Använd 20 03 2022].

Inlandsbanan, u.d. *Bekväm och hållbar persontrafik*. [Online]

Available at: <https://inlandsbanan.se/inlandstag/vi-erbjuder/persontrafik>

[Använd 26 04 2022].

Johnston, T., Riedel, R. & Sahdev, S., 2020. *To take off, flying vehicles first need places to land*.

[Online]

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

[Använd 05 05 2022].

Järnväg, u.d. *Banguide*. [Online]

Available at: <https://www.jarnvag.net/banguide>

[Använd 08 07 2022].

Karyd, A., 2013. *Fossilfri flygtrafik?*, u.o.: Regeringen.

Kelly, J. C., Dai, Q. & Wang, M., 2020. Globally regional life cycle analysis of automotive lithium-ion nickel manganese cobalt batteries. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Volym 25, p. 371–396.

Klimatsmartsemester, u.d. *Transportmedelsberäkningar*. [Online]

Available at: <https://klimatsmartsemester.se/transportmedelsberakningar>

[Använd 22 08 2022].

Knörr, W., Heidelberg, I., Ing, D. & Hüttermann, R., 2016. *EcoPassenger Environmental Methodology and Data update 2016*, Hannover: HaCon Ing. GmbH.

Larsson, J. & Kamb, A., 2018. *Semestern och klimatet*, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

LTR, 2022. *Sök din resa*. [Online]
Available at: <https://ltr.se/din-resa/sok-din-resa/>
[Använd 02 06 2022].

LTR, 2022. *Sök din resa*. [Online]
Available at: <https://ltr.se/din-resa/sok-din-resa/>
[Använd 02 06 2022].

Miao, Y., Hynan, P., von Jouanne, A. & Yokochi, A., 2019. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. *Energies*, 12(6), pp. 1074-1094.

Miljöbarometern, 2022. *Beläggningsgrad i kollektivtrafiken*. [Online]
Available at: <https://2030.miljobarometern.se/kommun/helhet/beteendet/belaggnings-kollektivtrafik-b3e-kh/%C3%96stersund>
[Använd 18 04 2022].

Mohlinstaxi, u.d. *Taxi Sveg*. [Online]
Available at: http://www.mohlinstaxi.se/taxi_sveg.html
[Använd 13 04 2022].

Naturvårdsverket, u.d. *Fakta om partiklar i luft*. [Online]
Available at: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/luft/luftforeningar-och-dess-effekter/fakta-om-partiklar-i-luft-pm25-och-pm10/>
[Använd 04 07 2022].

Naturvårdsverket, u.d. *Luftföroreningar och dess effekter*. [Online]
Available at: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/luft/luftforeningar-och-dess-effekter/>
[Använd 07 07 2022].

Norrtåg, 2022. [Online]
Available at: <https://www.norrtag.se/#/>
[Använd 01 08 2022].

Norrtåg, 2022. [Online]
Available at: <https://www.norrtag.se/#/>
[Använd 01 08 2022].

Plötner, K. S. M. B. M. I. A. H. M., 2013. *Operating Cost Estimation for Electric-Powered Transport Aircraft*. Los Angeles, Aviation Technology.

Polaczyk, N., Trombino, E., Wei, P. & Mitici, M., u.d. *A Review of Current Technology and Research in Urban On-Demand Air*, u.o.: u.n.

Regeringskansliet, u.d. *Transportsektorn ställer om för klimatet*. [Online]
Available at: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transportsektorn-staller-om-for-klimatet/>
[Använd 07 07 2022].

Resbot, 2022. [Online]
Available at: <https://kopbiljett.resrobot.trainplanet.com/travel-wizard/search-tickets?departureTime=2022-08-01T10:00:00&arrivalCountryCode=74&arrivalLocationId=115&departureCountryCode=74&departure>

Skatteverket, u.d. *Arbetsgivaravgifter*. [Online]

Available at:

<https://www.skatteverket.se/foretag/arbetsgivare/arbetsgivaravgifterochskatteavdrag/arbetsgivaravgifter.4.233f91f71260075abe8800020817.html>

[Använd 27 04 2022].

Smedberg, A., Norberg, I. & Oja, S., 2020. *electric aircraft- Battery, Hybrid and Fuel cell*, u.o.: Fair.

Smedberg, A., Norberg, I. & Oja, S., 2021. *Electric aviation 2021*, u.o.: FAIR.

Spinu, F., 2022. *Autoevolution*. [Online]

Available at: <https://www.autoevolution.com/news/volocopter-2x-evtol-carries-out-first-crewed-flight-in-france-is-a-success-184811.html>

[Använd 30 03 2022].

Strömberg, H., 2022. *e-Mail* [Intervju] (08 04 2022).

Svea, 2020. *Norge klimatregnskap 2020*, u.o.: SVEA.

Sverige, D., 2019. *Energiinnehåll, densitet och koldioxidutsläpp*. [Online]

Available at: <http://207.154.197.103/uppslagsverk/fakta/berakningsfaktorer/energiinnehall-densitet-och-koldioxidemission/>

[Använd 20 04 2022].

Taxi Åre, u.d. [Online]

Available at: <https://www.taxiare.se/priser>

[Använd 28 06 2022].

Taxiostersund, u.d. *Tjänster*. [Online]

Available at: <https://www.taxiostersund.se/25939.tjanster.html>

[Använd 15 04 2022].

Taxisundsvall, u.d. *Priser*. [Online]

Available at: <http://www.taxisundsvall.se/priser.php>

[Använd 15 04 2022].

Trafikverket, 2020. *Mått för ljudnivåer*. [Online]

Available at: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/buller-och-vibrationer---for-dig-i-branschen/Fakta-om-buller-och-vibrationer/matt-for-ljudnivaer/>

[Använd 20 08 2022].

Trafikverket, 2021. *Vägtrafikens utsläpp 2020*, Borlänge: trafikverket.

Transportmeasures, u.d. *Extra distance and taxi time*. [Online]

Available at: <https://www.transportmeasures.org/en/wiki/manuals/air/air-methods/extra-distance-taxi-time/>

[Använd 25 03 2022].

Transportmeasures, u.d. *Transportmeasures*. [Online]

Available at: <https://www.transportmeasures.org/ntmcalc/v4/basic/index.html#/>

[Använd 28 03 2022].

Transportstyrelsen, 2021. *Miljöarbete*. [Online]

Available at: <https://transportstyrelsen.se/sv/Om-transportstyrelsen/vart-uppdrag-och->

arbetsatt/Miljo/

[Använd 07 07 2022].

Viswanathan, S. S. V., 2021. *The promise of energy-efficient battery-powered urban aircraft*, Pittsburg: Department of Mechanical Engineering, Carnegie Mellon University.

Vy, 2022. [Online]

Available at: https://www.vy.no/en/see-travel-suggestions?from=Trondheim%20S&to=R%C3%B8ros%20Stasjon&fromDateTime=2022-04-26T02%3A00%3A30.389Z&fromExternalId=NSR%3ANSR%3AStopPlace%3A59977%2CSILVER_RAIL%3A1126%3A76&addons=W3sidHlwZSI6ImJpY3ljbGUiLCJudW1iZXJUb0J1eSI6MH0s

[Använd 25 04 2022].

Vy, 2022. *Flygbussen i Östersund*. [Online]

Available at: <https://www.vy.se/trafik-och-linjer/tidtabeller/flygbussen-i-ostersund>

[Använd 01 08 2022].

Vy, 2022. Vy. [Online]

Available at: https://www.vy.no/en/see-travel-suggestions?from=Trondheim%20S&to=R%C3%B8ros%20Stasjon&fromDateTime=2022-05-04T05%3A11%3A48.783Z&fromExternalId=NSR%3ANSR%3AStopPlace%3A59977%2CSILVER_RAIL%3A1126%3A76&addons=W3sidHlwZSI6ImJpY3ljbGUiLCJudW1iZXJUb0J1eSI6MH0s

[Använd 04 05 2022].

WSP, 2018. *Kollektivtrafikens bidrag till transportsektorns klimatmål*, Stockholm: WSP.

XE, 2022. *Omvandla 1 USA-dollar till Svensk krona - USD till SEK*. [Online]

Available at: <https://www.xe.com/sv/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=SEK>

[Använd 25 04 2022].

Östersunds kommun, 2021. *Östersunds kommun*. [Online]

Available at: <https://www.ostersund.se/trafik-och-infrastruktur/hallbart-resande/green-flyway.html>

[Använd 04 03 2022].

Fotografier

Anon, 2021. *ES-19 United 3*. [Fotografi]. <http://heartaerospace.com/newsroom/>. (Hämtad 2022-08-14)

Anon, u.d. [Fotografi]. [https://](https://drive.google.com/drive/folders/1t4toHp8bRrv25LDrKjOrdaauBQpwS6v2)

drive.google.com/drive/folders/1t4toHp8bRrv25LDrKjOrdaauBQpwS6v2. (Hämtad 2022-04-25)

Anon, 2017. *738312244*. [Fotografi]. <https://www.shutterstock.com/image-photo/frankfurt-germany-sep-12-2017-volocopter-738312244>. (Hämtad 2022-04-25)