



Fossilfritt Flyg

I NORRA SVERIGE



Innehåll

| | |
|---|-----------|
| Inledning | 7 |
| English summary | 8 |
| Bakgrund och andra utredningar | 12 |
| Biojet för flyget | 12 |
| Fossilfritt Sveriges färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Flygbranschen | 13 |
| Fossilfritt Sveriges - Strategi för fossilfri konkurrenskraft..... | 14 |
| Innovationsklustrets färdplan (Fossilfritt flyg 2045) | 14 |
| FAIR..... | 16 |

Stärkta förutsättningar för produktion av SAF..... 18

| | |
|---|-----------|
| 1 Omvärldsbevakning – skoglig biomassa | 18 |
| EU – översikt | 19 |
| EU – fördjupat | 22 |
| LULUCF-förordningen | 22 |
| Förnybarhetsdirektivet..... | 23 |
| Förordningen om hållbara bränslen inom luftfart - ReFuel Aviation | 24 |
| Avskogningsförordningen..... | 25 |
| Förordningen om restaurering av natur..... | 25 |
| Skogsstrategin..... | 26 |
| Sverige – översikt | 27 |
| Sverige – fördjupat..... | 27 |
| Skogstillgångar i Sverige..... | 30 |
| 1.1 Flöden av skogsindustrins biprodukter – Nuläge och en 2030-analys | 34 |
| 1.1.1 Dagens marknadssituation för de fyra nordligaste länen | 34 |
| 1.1.2 Möjliga synergier med etablerade värdekedjor och industrier..... | 38 |
| 1.1.3 Förändringar av råvaruflöden vid etablering av produktions- anläggningar för SAF | 39 |
| 1.1.4 Tillgång och kostnad för skoglig biomassa för produktion av SAF i norra Sverige..... | 42 |
| 1.2 Aktörs- och affärsmodellanalys..... | 48 |
| 1.2.1 Kartläggning av aktörer | 48 |
| 1.2.2 Framtida affärsmodeller | 52 |
| 1.3 Certifieringar..... | 53 |
| 1.4 Teknisk översikt | 55 |
| 1.4.1 HEFA – hydrerade estrar och fettsyror | 56 |
| 1.4.2 FT – Fisher Tropsch | 56 |
| 1.4.3 Sockerplattform | 58 |
| 1.4.4 Elektrobränslen | 58 |
| 1.5 Värdekedjeanalys..... | 62 |
| 1.5.1 Sockerplattform | 63 |
| 1.5.2 Förgasning och FT | 62 |
| 1.5.3 Sammanfattning av de två affärerna | 66 |
| 1.5.4 Hinder och förslag till att överbrygga dessa | 67 |

Batteridrivet elflyg..... 70

| | |
|--|-----------|
| 1 Introduktion | 70 |
| 1.1 Utmaningar och möjligheter | 72 |
| 1.2 Omvärldsbevakning | 72 |
| 1.2.1 Batteridrivet elektriskt flyg | 72 |
| 2 Hållbarhetsaspekter och samhällsekonomiska förutsättningar och effekt... 74 | |
| 2.1 Klimatpåverkan från batteridrivet elflyg | 74 |
| 2.1.1 Jämförelse av elflyg och Jet-A1 flygplan..... | 75 |
| 2.2 Energipolitik och samhällsekonomi | 75 |
| 3 Elinfrastruktur..... 76 | |
| 3.1 Introduktion | 76 |
| 3.2 Försörjning av el till flygplatsen | 77 |
| 3.2.1 Elnätsbolagets leverans till Umeå Flygplats | 77 |
| 3.2.2 Energilager | 77 |
| 3.2.3 Elproduktion på flygplatsen | 77 |
| 3.2.4 Infrastruktur vid elflygplanens uppställningsplats | 78 |
| 3.3 Övrig infrastruktur som kan påverkas av ökad flygtrafik..... | 79 |
| 4 Riskhantering vid implementering av batteridrivet elflyg | 80 |
| 4.1 Vägen framåt | 81 |
| 5 Framtidsscenario för batteridrivet flyg på Umeå Flygplats | 82 |
| 5.1 Bakgrund – Swedavias långtidsprognos..... | 82 |
| 5.1.1 Räckvidd av ett batteridrivet elflygplan..... | 82 |
| 5.1.2 Aktiva flygplatser i närområdet till Umeå Airport..... | 83 |
| 5.2 Fördjupning av möjliga flyglinjer..... | 83 |
| 5.2.1 Jämförelse av restider | 84 |
| 5.3 Scenarioarbete för batteridrivet elflyg | 87 |
| 5.3.1 Scenarioarbete för flygplatsen..... | 87 |
| 5.3.2 Batteridrivet elflygplan – möjlig utveckling av flygplansnätet från Umeå Airport | 89 |
| 6 Förslag till ändringar i markanvändningsplanen | 90 |
| 6.1 Gällande masterplan..... | 90 |
| 6.2 Elflygets åtgärdsbehov på Umeå Airport | 91 |
| 6.2.1 Umeå Airport nuvarande infrastruktur och nätkapacitet..... | 91 |
| 6.2.2 Ökning av nätkapacitet till Umeå Airport | 91 |
| 6.2.3 Ökning av nätkapacitet på Umeå Airport | 92 |
| 6.2.4 Infrastruktur vid elflygplanets uppställningsplats..... | 92 |
| 6.2.5 Påverkan på elnätskostaden | 92 |
| 6.3 Förslag på placering av batteridrivet elflyg på Umeå Airport..... | 92 |
| 7 Diskussioner och slutsatser..... 96 | |
| 7.1 Tidslinje för batterielektriskt flyg..... | 96 |
| 7.2 Utmaningar och hinder med att implementera batteridrivet elflyg på flygplatser..... | 96 |
| 7.2.1 Utmaningar med att anpassa markinfrastrukturen..... | 96 |
| 7.2.2 Utmaningar med att upphandla batteridrivna elflygstrafik..... | 96 |
| 8 Rekommendationer..... 98 | |



Förstudie Vätgas..... 101

| | |
|--|------------|
| 1 Vätedrivet flyg..... | 101 |
| 1.1 Introduktion..... | 101 |
| 1.2 Utmaningar och möjligheter | 102 |
| 1.3 Historiska framsteg samt pågående forskning och innovation för vätedrivna luftfarkoster | 102 |
| 2 Grön vätgas och flytande väte | 106 |
| 2.1 Introduktion | 106 |
| 2.2 Lagring av vätgas och flytande väte ombord på farkoster | 106 |
| 2.3 Framdrift av flygplan med väte som bränsle..... | 107 |
| 2.4 Stationär lagring av flytande väte på flygplatsen | 109 |
| 2.5 Försörjning av flytande väte till flygplatsen | 109 |
| 2.5.1 Lokal elektrolys och förvätskning | 110 |
| 2.5.2 Leverans av vätgas via pipeline och lokal förvätskning | 110 |
| 2.5.3 Leverans av flytande väte med fordonstransport..... | 111 |
| 2.5.4 Jämförelse mellan bränsleförsörjningsalternativen..... | 112 |
| 2.6 Tankning och infrastruktur för flygplatser..... | 113 |
| 2.6.1 Utmaningar och möjligheter | 113 |
| 2.6.2 Tankbil..... | 113 |
| 2.6.3 Rörledningssystem | 114 |
| 2.6.4 Modulärt tankbytessystem..... | 116 |
| 2.6.5 Konventionell tankning med vätgas..... | 116 |
| 3 Hållbarhet och samhälle | 116 |
| 3.1 Klimatpåverkan från vätedrivet flyg | 116 |
| 3.2 Energipolitik och samhällsekonomi..... | 117 |
| 3.2.1 Minskat importberoende av fossila bränslen..... | 117 |
| 3.2.2 Industriella satsningar på vätgas i norra Sverige och potentiella synergier för Umeå flygplats..... | 118 |
| 4 Säkerhet och relaterade regelverk för väte på flygplatser..... | 119 |
| 4.1 Regelverk och standarder..... | 120 |
| 4.2 Väte inom flygplatsmiljön..... | 121 |
| 4.3 Organisatoriska åtgärder och rutiner på flygsidan | 122 |
| 4.4 Slutsatser och rekommendationer gällande vätgassäkerhet..... | 124 |
| 5 Två framtidsscenarioer för vätedrivet flyg på Umeå flygplats..... | 126 |
| 5.1 Bakgrund | 126 |
| 5.1.1 Flygtrafik på UME innan Covid-19..... | 126 |
| 5.2 Framtidsscenario: Fullskalig reguljär vätedriven linjetrafik på UME..... | 127 |
| 5.2.1 Behov av väte och energi till flygtrafiken | 128 |
| 5.2.2 Bränslelogistisk | 129 |
| 5.3 Framtidsscenario: Vätedrivet demonstrationsflyg på UME..... | 130 |
| 5.3.1 Flygplan och flygningar | 131 |
| 5.3.2 Bränsleförsörjning och logistik..... | 132 |
| 5.3.3 Alternativ eller komplement till demoprojektet: vätedrivna arbetsfordon på flygplatsen..... | 133 |



| | |
|---|------------|
| 6 Övrig diskussion om grön vätgas inom flygindustrin | 134 |
| 6.1 Utmaningar och hinder med att implementera väte ur flygplatsens perspektiv | 134 |
| 6.2 Tidslinje för vätedrivet flyg | 135 |
| 6.3 Sammanfattning av vissa policys och engagemang relaterat till vätedrivet flyg | 135 |
| 6.3.1 Svenska och europeiska målsättningar för hållbart flyg | 135 |
| 6.3.2 ICAO:s Long-term global aspirational goal..... | 136 |
| 6.3.3 EUs definition av grön vätgas..... | 136 |
| 6.3.4 Alliance for Zero Emission Aircraft (AZEA) | 137 |
| 6.4 Andra användningar av väte..... | 137 |
| 6.4.1 Framställning av hållbara drop-in bränslen | 137 |
| 7 Rekommendationer | 139 |
| Appendix | 140 |
| Avgångar från UME, 15 – 28 september 2022 | 140 |
| Metod för beräkning av vätebehov..... | 141 |
| Beräkning av bränslekostnader | 143 |

Biodrivmedel.....144

| | |
|---|------------|
| 1 Biodrivmedel: ökad efterfrågan, kunskapshöjning och nudging | 144 |
| Vad är bioflygbränsle?..... | 144 |
| Efterfrågan via upphandling | 144 |
| Värdet av att klimatreducera sina tjänsteresor..... | 145 |
| Osäkerhet kring efterfrågan | 145 |
| Kan det offentliga öka efterfrågan på biodrivmedel?..... | 146 |
| Hur ser företag och organisationer på köp av biodrivmedel/ klimatreducering?..... | 147 |
| Nudging och kunskapshöjning..... | 148 |
| Rekommendationer | 151 |



Slutord..... 152

Referenser.....153





Projektgruppen i Fossilfritt flyg i norra Sverige, 17 maj 2022. Fotograf: Fredrik Larsson

Rapportförfattare:

Anders Lundblad - RISE
Arne Smedberg – Biofuel Region
Axel Nordin Fördös – RISE
Eva Fridman, Biofuel Region
Fredrik Rhodin, Swedavia
Håkan Pedersen – Swedavia

Johanna Källman, RISE Processum
John Badlund - Swedavia
John Nilsson – Swedavia
Jonas Markusson, RISE Processum
Karin Gylin, Swedavia
Kristoffer Ahlm, Umeå kommun

Lena Wennberg, Swedavia
Magnus Matisons, Biofuel Region
Mårten Bäck, Umeå kommun
Paul Adams - RISE
Stefan Åström - Swedavia



Inledning


Umeå, december 2022

För Sverige som land, norra Sverige som region och Umeå som stad är flyget av avgörande betydelse ur ett tillgänglighetsperspektiv. Näringslivet behöver bra flygförbindelser för att kunna träffa kunder och attrahera kompetent personal. Universitetsstudenter och anställda vill kunna träffa anhöriga och behöver kunna resa på konferenser och möten. Likaså finns ett stort behov av flygmöjligheter hit vid event så som Rally Sweden, SkogsNolia, SM-veckan med flera. Exempelen är många på att Umeå och regionen behöver flyget för att kunna vara attraktiva som platser att bo och verka på. Umeå kommun är en kommun med höga klimatambitioner och driver exempelvis projektet Klimatneutrala Umeå¹ med målet att bli en klimatneutral stad 2030. Naturligtvis är flyget en del i detta arbete och Umeå kommun har därför i projektet "Fossilfritt flyg i norra Sverige" ställt sig frågan hur vi som stad och region kan stå redo för framtidens flyg? Hur ser utvecklingen inom fossilfritt flyg ut? Vilka tekniska alternativ finns? Vad kan göras redan nu?

Detta är projektets huvudrapport. Det finns även en sammanfattad rapport. Båda finns att ladda ned på Biofuel Regions hemsida och Umeå kommuns hemsida. Största finansiär av projekt Fossilfritt flyg i norra Sverige har varit Energimyndigheten.

Mårten Bäck
projektledare, Umeå kommun.

¹ Umeå kommun. (2022). Klimatneutrala Umeå. <https://www.umea.se/klimatneutral> Läst 2022-10-01



English summary

Strengthened conditions for production of SAF

Currently, a lot is happening that affects the development of Sustainable Aviation Fuel, so-called SAF, both within the EU and Sweden. Within the EU, it is above all the big package "Fit for 55" that has an impact. The proposals relating to the use of forest raw materials affect Swedish forestry and forest owners in several ways.

The four different bio-based production routes certified for blending into jet fuel are hydrogenated esters and fatty acids (HEFA), Alcohol-to-Jet (AtJ), Fischer-Tropsch (FT) and direct fermentation of sugar (DSHC). Electrofuel is a variant of SAF that is produced from electricity and water, which together form hydrogen in an electrolysis process. The hydrogen can in turn be combined with, for example, carbon dioxide to produce, among other things, aviation fuel.

In Sweden, forestry is practiced in a manner that makes it possible to both store carbon in the forest and use the "interest" on the forest capital for products and bioenergy. The actors we have spoken to who are investi-

gating the possibilities of producing SAF or selling technology to produce SAF in northern Sweden are TreePower in Piteå, SCA in Sundsvall, Uniper, Sasol ecoFT in Sollefteå and Sekab in Örnsköldsvik.

Most facilities have planned for the use of branches and tops – an assortment that may be classified as non-renewable if the revision of the Renewable Energy Directive goes through in accordance with the EU Parliament's position.

Actors looking for raw materials for the manufacture of SAF do not always have knowledge of other industries looking for raw materials to replace fossil raw materials. The chemical industry is also going through a green transition, and for some products has a significantly higher ability to pay for the forest biomass than fuel producers.

We want to create a picture of what business opportunities exist based on local raw materials for production of biojet fuels. But since all sectors face a need for change with a common goal of reaching climate neutrality in 2050, we also want to broaden the picture to a bioeconomy that includes all sectors. The production routes that are exemplified are the sugar platform as well as gasification and Fisher-Tropsch (FT).

Both business opportunities are considered to have potentially good conditions, but they place different demands on an actor or a consortium composition. Both businesses use technologies that are ready for commercial applications. Similar to the total fossil business, it is likely that the SAF share constitutes a small part of the total palette of products from forest raw materials. Therefore, policy instruments should consider the overall business, not just individual products and markets.

The state can facilitate increased domestic production of SAF in several ways, for example by introducing a domestic advanced quota of SAF, describing sustainable forestry and the use of forest biomass. Also working for increased acceptance at EU level and working to achieve stability in how forest biomass may be produced and used.

Battery-powered electric airplanes

Thanks to the higher energy density of today's Li-ion batteries, battery-powered electric airplanes have emerged as a realistic new opportunity to conduct commercial air traffic. In a battery-powered aircraft, the batteries contribute power to an electric motor that drives a propeller. Electric engines are relatively easy to build and maintain, unlike turboprop engines or jet engines. Maintenance costs for the engines will therefore be lower in comparison with internal combustion engines. Electric motors are also very efficient in using the batteries' energy and the efficiency is very high. The cost of electricity is considered to be lower than other energy sources and together with the operating cost this contributes to interesting business opportunities for electric aviation.

However, battery-powered electric aircraft suffer from several challenges. The main challenge is the low energy density of batteries, which limits the flight's range or passenger capacity. Although there are advances in

battery technologies, they will not be able to offer the energy density found in jet-A1 or in liquid hydrogen for a long time. Another challenge is the power requirements necessary to quickly charge the battery in the aircraft, which will affect the surrounding power grid on and off the airport. New procedures, updated regulations and training of personnel are required in order to be able to handle an electric aircraft at an airport.

Initially, and with great probability also in the medium term, battery-powered electric aircraft are not adapted to longer flight distances and routes with large travel requirements due to limitations in the batteries. On the other hand, battery-powered electric aircraft can partly replace shorter routes with lower passenger demand, partly create new routes, especially in sparsely populated areas with a lack of transport infrastructure and obstacles in the form of mountains or seas. However, the lower operational costs of electric aircraft must be compared to the new infrastructure and changes in the operational needs at the airport.

New adapted standards and safety requirements must be established by international authorities, including EASA, before commercial electric aircraft can be put into service. This requires further testing and demonstration projects. Airports should also, in consultation with the aviation industry in general, carry out security analysis in order to determine the routines and requirements that should apply in the future. In the longer term, the electricity infrastructure must be taken into account. Even small airports can have power requirements comparable to a smaller city district and thus the possibility of being able to locally produce and store energy should be investigated.

Hydrogen airplanes

Hydrogen gas or liquid hydrogen can also be used as aircraft fuel, both for jet engines and in fuel cells that convert the energy in the hydrogen gas into electricity to power electric aircraft engines.

There are several small and large companies working to develop hydrogen-powered aircraft that are eventually expected to become commercially viable. To name a few examples, the start-up company ZeroAvia has already carried out successful test flights with a hydrogen-powered fuel cell-electric aircraft and plans to launch smaller hydrogen-powered aircraft with 9 – 19 passenger seats as early as 2025. Similar ambitions also exist at the competitor Universal Hydrogen. Airbus also has a development program for hydrogen-powered aviation and aims to launch its first commercial hydrogen-powered aircraft in 2035.

Although several hydrogen-powered aircraft demonstration projects are expected to be launched in 2025, it is not until 2040 – 2050 that there is expected to be a significant proportion of hydrogen-powered aircraft, and it will not reach its full potential before 2070.

Hydrogen has a low energy density relative to its volume. In order for an airplane to fit all the energy needed, the hydrogen must either be pressurized to very high pressures or liquefied. Some properties of hydrogen make it more dangerous than conventional aviation fuels, while other

properties make it safer. From a safety perspective, there are no insurmountable obstacles to the use of hydrogen as fuel for commercial aviation.

The aviation industry is an industry characterized by strict international standards and safety requirements. In order for such to be developed also for hydrogen-powered aircraft, the ability to conduct tests and experience from demonstration projects is required. It is especially important to carry out safety analysis to determine which safety distances and routines that should be used.

In the longer term, the energy supply must be considered. Even small airports can have an energy requirement comparable to an industrial plant. This energy need is currently supplied with fossil fuels that can be replaced by hydrogen that is imported to the airport or produced locally. Whichever path is chosen, it entails a major change in the energy system and coordination and planning will be required at regional and national level to solve the energy supply.

Biofuels – increased demand and procurement

Municipalities, regions, and authorities can participate in joint tenders or buy biofuels via airlines or, for example, through the organization Fly Green Fund.

In the report "Governing instruments for aviation's climate transition" from Trafikanalys published in September 2022, it is proposed that authorities, through the purchase of biofuels, should reduce the climate footprint of their air travel, which would provide an important signal value.

A survey has been conducted to gather insights into existing and potential travellers' knowledge, attitudes, behaviour and incentives regarding aviation and climate. 68 percent do not know that they can buy biofuel for all or part of their flight. The project has set up stands with information about biofuel and the possibility of buying biofuel, however, no one has chosen to buy biofuel.

The ability of municipalities and regions to make Letter of intent (LOI) or offtake agreements is not in accordance with the Public Procurement Act (LOU). Therefore, it is difficult for municipalities and regions to support the production of SAF via offtake agreements or via letters of intent. In addition, it is unclear which sustainability criteria can be set for an aviation fuel in a procurement (if there was a large-scale production of SAF from forest raw materials today).

Several airlines, including Flyg Bra and SAS, offer the option of choosing sustainable fuel when booking a flight. However, interest in buying sustainable fuel is generally low. There are several reasons for that, and price is probably the main reason. In order to increase demand, the public sector can take the lead by climate-reducing business travel.



Bakgrund och andra utredningar

På senare år har det gjorts flera utredningar inom området fossilfritt flyg och flera projekt har också pågått, exempelvis initiativet Fossilfritt flyg 2045. I det här avsnittet ges en sammanfattning om några av dessa.

Biojet för flyget

I den omfattande biojetutredningen av Maria Wetterstrand, Biojet för flyget uppges att mellan 1990 och 2017 har den tankade volymen flygbränsle ökat med 44 procent från 940 000 kubikmeter per år till 1,36 miljoner kubikmeter per år vilket motsvarar 13 TWh. Antalet avresande passagerare från 1990 till 2017 har ökat 77 procent. Inrikesflyget har ett bränslebehov på runt 200 000 kubikmeter per år vilket motsvarar 2 TWh.

Innan det vi idag känner till som reduktionsplikt infördes så var användningen av biojetbränsle endast styrd av kundefterfrågan. Utredningen visade att det fanns en viss betalningsvilja hos en del konsumenter och företag, men att detta endast skulle leda till en låg inbladningsgrad av biodrivmedel. Därför

krävdes mer styrmedel för att kunna minska flygets klimatpåverkan och uppnå målet i Parisavtalet.

De utsläppsrätter inom utsläppshandelssystemet EU ETS samt i det globala marknadsbaserade styrmedlet Corsia för den internationella flygtrafiken ledde inte heller till någon ökad inbladning av biodrivmedel, då utsläppsrättspriset var för lågt och på grund av en för stor tilldelning. Därför krävdes ett styrmedel som skulle öka inblandningen av biodrivmedel och förslaget om reduktionsplikten lyftes fram i utredningen.

Reduktionsplikten innebär att krav ställs på en ökad inbladning av biodrivmedel för drivmedelsleverantörer till en viss andel med ökade nivåer fram till 2030. Idag, år 2022 är reduktionsnivån satt till 1,7 procent vilket motsvarar 2 volymprocent och den kommer öka med omkring en procentenhet varje år de första fem åren och därefter sker höjningen i en högre takt med 15,3 procent från 2028. Standarden tillåter en uppblandning upp till 50 volymprocent. Utredningen pekar på att priset för biobränsle kommer att sjunka successivt från 18 kronor per liter 2021 till 12 kronor per liter 2030, vilket kan jämföras med ett genomsnittspris på runt 6 kronor per liter för flygbränsle (2018). Utredningen pekar på att efterfrågan på biodrivmedel fram till 2030 kommer att vara större än den produktionskapacitet som finns. I november 2022 är priset 44 000 kronor per ton vilket motsvarar cirka 35 kronor per liter.

Förslaget om reduktionsplikten kom att bli verklighet när lagförslaget senare godkändes av riksdagen. Utredningen lämnar även förslag på att möjligheten att upphandla biodrivmedel bör uppföras i statliga ramavtal. I utredningen konstateras också att frågan om hur investering och driftstöd kan användas för att främja ny teknik i produktionsanläggningar av biodrivmedel och som är för kostsam att kunna konkurrera i reduktionsplikten i ett tidigt skede bör analyseras.²

Fossilfritt Sveriges färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Flygbranschen

I Fossilfritt Sveriges färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Flygbranschen så lyfts flyget fram som ett viktigt kommunikationsmedel för Sveriges ekonomi för att korta restiderna och göra det realistiskt att på kort tid färdas långa avstånd. Det är framför allt viktigt med ett fungerande flyg för aktörer i norra Sverige med de stora avstånden, för ett fungerande näringsliv och för att kunna vara konkurrenskraftig både nationellt och internationellt. Rapporten konstaterar att regelverket idag möjliggör en inblandning på upp till 50 procent med biodrivmedel, men att detta kommer att ändras när det utgör en begränsning. Redan idag är det tekniskt möjligt att flyga med 100 procent fossilfritt bränsle. Deras färdplan utgår från att Sverige år 2030 kan ha ett fossilfritt inrikesflyg och att alla flyg som startar vid svenska flygplatser ska vara fossilfria till 2045. För att lyckas med detta och för att hantera de hinder som finns idag behövs mer statligt investeringsstöd och medel för projektering av produktionsanläggningar. För att nå 2030-målet krävs en investering på uppskattningsvis 5 miljarder och 1–2 produktionsanläggningar.

Elektrifieringen bedöms bli viktig och tros påverka möjligheten att nå fossilfritt flyg efter 2030. Rapporten konstaterar också att det saknas en funge-

² Regeringskansliet. (2019). Biojet för flyget, SOU 2019:11. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2019/03/sou-201911/>
Läst 2022-11-03

rande affärsmodell med avgifter och stödsystem och att det inte finns ekonomiska förutsättningar för att möjliggöra en produktion av biodrivmedel i Sverige. Marknadsförutsättningarna måste ändras för att öka efterfrågan hos flygbolagen samt öka viljan att investera långsiktigt i produktion av biodrivmedel då merkostnaderna för biobränsle är höga.

Fler produktionstekniker behöver kommersialiseras för att möjliggöra en storskalig produktion. Det finns en utmaning med andra billigare biodrivmedel som importeras och som konkurrerar med ett dyrare biodrivmedel baserat på svenska eller nordiska råvaror. Det krävs 1,2 miljoner kubikmeter fossilfritt bränsle, vilket motsvarar runt nio procent av dagens svenska bioenergitillförsel, för att nå målen till ett inrikes och utrikes flyg som är fossilfritt till 2045. Det konstateras även att en statlig gemensam upphandling av alla offentliga resor skulle behövas för att ytterligare skapa en efterfrågan på biodrivmedel.³

Fossilfritt Sveriges - Strategi för fossilfri konkurrenskraft

I rapporten Fossilfritt Sveriges strategi för fossilfri konkurrenskraft beskrivs att tillsammans med elektrifiering och effektivisering är bioråvaror en viktig komponent för att ersätta fossila råvaror och bränslen i Sverige. Bioenergi-användningen kommer att öka fortsatt i Sverige och inom EU. Idag används 158 TWh bioenergi där 26 TWh biodrivmedel importeras till främst transportsektorn.

Prognosen för det framtida behovet av biodrivmedel skulle fram till 2045 vara en ökning till 241 TWh vilket skulle kräva en omfattande import. För att kunna minska detta så förutsätter biostrategin att framför allt vägtrafiksektorn elektrifieras snabbare samt effektivisering inom värmesektorn och elektrifiering inom skogsindustrin. Det skulle innebära att till 2030 så skulle det krävas cirka 193 TWh bioråvara, vilket skulle innebära en ökning på 22 procent mot dagens nivåer på den använda bioenergin.

Detta gör att 2045 så kommer el att vara det dominerande drivmedlet i vägtransportsektorn medan flyg och sjöfart kommer öka sin användning av biodrivmedel. För att få i gång den inhemska bio-drivmedelsproduktionen i Sverige från skoglig biomassa så krävs styrmedel för att öka takten i utvecklingen. Därför föreslår Fossilfritt Sverige att regeringen bör införa en avancerad kvot i reduktionsplikten som bör kunna implementeras 2024. Det saknas även fastställda reduktionsnivåer för inblandning i reduktionsplikten åren 2030 till 2045. Här vill Fossilfritt Sverige att regeringen beslutar om dessa kvoter och arbetar för att även EU sätter liknande mål. Där bör målet vara 100 procent inblandning vilket även förutsätter att regelverket med möjlighet till endast 50 procent inblandning av flygbränsle ändras.

Innovationsklustrets färdplan (Fossilfritt flyg 2045)

Rapporten Vägen till fossilfritt flyg 2045: agerande, hinder och behov har haft ett nationellt fokus för att skapa en nationell plattform som samlar aktörer kring flyget. Projektet Fossilfritt Flyg 2045 var ett initiativ mellan SAS,

³ Fossilfritt Sverige. (2018). Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Flygbranschen. https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2020/10/ffs_flygbranschen.pdf
Läst 2022-12-05

Swedavia och RISE som skapade ett kluster. Arbetet pågick under 2019–2020 och var finansierat av Energimyndigheten. Målet med projektet var att bidra till att flygbranschen når det mål de har enats om, att Sverige senast 2030 har ett fossilfritt inrikesflyg och att alla flyg som startar vid svenska flygplatser är fossilfria senast år 2045. Rapporten beskriver vad som krävs framåt under perioden 2020–2045 för att nå målet om ett fossilfritt flyg. Rapporten lyfter även fram hinder och utmaningar för att nå detta. Det har även tagits fram ett antal rekommendationer till aktörer hur dessa hinder kan röjas, då främst hos politiken. Några av de slutsatser som konstateras i rapporten är att en tidig och lyckad omställningen av flyget skulle gynna Sveriges möjligheter att bli ledande inom fossilfrihet och visa vägen för andra nationer. Det faktum att Sverige har tillgång till grön el och hållbara biodrivmedel samt att det finns plats i lufrummet gör att det finns möjlighet att både testa och utvärdera hållbara flyglösningar, och där blir det viktigt med ett starkt politiskt stöd för att möjliggöra detta.

Rapporten lyfter fram att det är angeläget att hållbarhetskriterier är strikta och tydliga för att styra den tekniska utvecklingen. Tekniska lösningar och forsknings- och utvecklingsstöd blir viktiga för att nå fossilfrihet. De lyfter även fram att en ökad takt i energieffektiviseringsarbetet är en grundläggande förutsättning för att lyckas optimalt med andra åtgärder.

I takt med ökad fossilfrihet kräver olika tekniklösningar infrastruktur- förändringar på flygplatserna och det krävs även att hänsyn tas till andra trafikslag för att skapa en bättre integrering på flygplatserna. Därför är det av stor vikt att flyget ses som en nödvändig infrastruktur hos såväl politiken som samhället och näringslivet. Förutom detta kommer det även att krävas affärsförändringar för att följa med utvecklingen, både inom branschen och i andra branscher, samt att det finns nya aktörer som tar på sig de nya rollerna som uppstår.

Några av de behov och rekommendationer som rapporten lyfter är:

- Utforska införandet av nationella subkvoter för inhemska råvaror med hög grad av hållbarhet.
- En gemensam reduktionsplikt i Norden bör införas.
- Underlätta finansiering för anläggningskostnader.
- Neutralitet i offentlig upphandling och resepolycys vad gäller trafikslag.
- Hållbarhetskriterier och emissionsfaktorer bör vara lika internationellt.
- Det bör göras offentliga infrastruktursatsningar på flygplatser.
- Det krävs tydliga strategier för den nya teknikens el- och vätgasflyg och regelverken kring dessa.
- Underlätta och påskynda marknadsintroduktionen av nya tekniker som skulle kunna bidra till fossilfrihet.
- Främja och utforska betalningsviljan för hållbara reselösningar genom olika kommunikations och forskningsinsatser.

I rapporten skriver de även att de vill se en vidareutveckling av Fossilfritt flyg 2045-projektet. Detta blev möjligt med den utlysning som Energimyndigheten gjorde riktat mot Fossilfritt flyg 2045, som finansierat projektet Fossilfritt flyg i norra Sverige som tar avstamp från tidigare projekt, men med ett regionalt fokus.⁴

FAIR

FAIR (Finding Innovations to Accelerate Implementation of Electric Regional Aviation) var ett 2-årigt projekt som stöttade elflygets utveckling och etablering av framtida elflyg i Kvarken-Nordlandregionen. Kvarken och Nordland består av olika län i Österbotten, södra Österbotten samt centrala Österbotten i Finland, Västerbotten, Nordland i Norge samt Östersunds kommun. Projektet förbereder regionen för ett kommande elflyg genom att det ökar kunskapen om elflyget, undersöker möjligheter och behov samt vilka tekniska investeringar som krävs för att vara redo för det nya fossilfria flyget.

Projektet FAIR har fokuserat på just elflyg, den tekniska aspekten, hur tekniken fungerar samt hur tekniken skulle kunna användas i ett regionalt elflygnät. Projektet har tittat brett och man har undersökt den infrastruktur som behövs samt vilken kapacitet elflyget har och vilka linjer elflyget skulle kunna trafikera. Projektet har även gjort beräkningar på olika elflyg och kostnadsaspekter. I rapporten beskrivs även hur de jämfört elflyg mot andra resalternativ. I sin rapport så har de kommit fram till att det finns tre aspekter som gör elflyg intressant. Dels är det den ökade tillgängligheten som elflyget medför där det går att flyga fågelvägen över havet eller en fjord. Den andra aspekten projektet har kommit fram till är att elflyget har en minskad klimatpåverkan jämfört med det fossila flyget samt att elflyget har lägre kostnader än det traditionella flyget.

FAIR har även jämfört hur olika transportmedel elflyg, EVTOL, snabbtåg samt elbil står i förhållande till varandra sett till avstånd och tid. Detta för att visa vid vilka avstånd de olika transportmedlen kan bli viktiga. Där har den totala restiden dör till dörr tagits i beaktning. Elflyget slår snabbtåg men batterikapaciteten begränsar, det vill säga elflyget lämpar sig på kortare sträckor jämfört med det fossila flyget. Elflyget kan ha en stark konkurrensfördel mot andra transportmedel framför allt där tidsvinsten är stor, när det går att flyga över ett hav eller ett bergigt område, istället för att köra en tidskrävande omväg runtom.

Fair-projektet har även landat i slutsatsen att det behöver skapas ett regionalt flygnät samt möjliggöra en tidig elektrifiering av flyget.⁵

⁴ Föreningen Svenskt Flyg Intresse AB. (2021). Vägen till fossilfritt flyg 2045. <https://www.svensktflyg.se/fardplanen/projekt/fossilfritt-flyg-2045/> Läst 2022-12-05

⁵ Kvarkenrådet. (2022). Fair Final report – How to accelerate the implementation of electric regional aviation. <https://www.kvarken.org/projekt/fair-final-report-how-to-accelerate-the-implementation-of-electric-regional-aviation/> Läst 2022-12-05

Ordlista

Stärkta förutsättningar för produktion av SAF

| | |
|---------------------|--|
| AtJ | Alcohol to Jet, metod för att framställa bioflygbränsle katalytiskt ur någon av alkoholerna butanol eller etanol. |
| DSHC | Direct sugar to hydrocarbons, direktfermentering av socker |
| Elektrolys | Elektricitet används för att driva en annars icke-spontan kemisk reaktion |
| Fermentering | En process som med hjälp av mikroorganismer, som exempelvis bakterier och svampar, konverterar kolhydrater till syror eller alkohol. Kolhydraterna kan antingen bli stärkelsor eller socker. |
| FT | Fischer-Tropsch, metod att utvinna syntetiska, kolvätebaserade drivmedel och kemikalier från syntesgas. |
| Förgasning | En process som omvandlar organiskt material till gaser, främst kolmonoxid och vätgas, med tillsats av syre och/eller vattenånga |
| Grot | Grenar och trädtoppar |
| HEFA | Hydroprocessed Esters and Fatty Acids, vätebehandlade estrar och fettsyror |
| Hektar | 10 000 m ² |
| HVO | Hydrotreated Vegetable Oil, vätebehandlade vegetabiliska oljor |
| Hydrolys | En typ av nedbrytningsreaktion där en av reaktanterna är vatten; och vanligtvis används vatten för att bryta kemiska bindningar i den andra reaktanten. |
| Koldioxidekvivalent | Är ett mått på utsläpp av växthusgaser som tar hänsyn till att olika sådana gaser har olika förmåga att bidra till växthuseffekten och global uppvärmning. När det gäller skog gäller 1,378 tCO ₂ /m ³ sk. |
| LULUCF | Land Use, Land-Use Change and Forestry, Markanvändning, markanvändningsförändring och skogsbruk |
| m ³ fub | fastkubikmeter under bark, volymen av virke utan barken och utan trädets topp |
| m ³ sk | skogskubikmeter som är virkesvolymen hos ett träd eller ett skogsbestånd, inklusive bark men exklusive grenar och rötter |
| Oligomerisering | Byggandet av en molekyl som består av några få upprepade enheter (monomerer) |
| OME | Poly(oximetylen)dimetyletrar, en serie organiska föreningar. OME med en kedjelängd på n = 3 eller n = 5 kan användas som ett alternativ till konventionellt dieselbränsle tillverkat av petroleum. |
| Pyrolys | En process där material upphettas till en hög temperatur, i en syrefri miljö, så att det sönderfaller utan att förbränning sker. |
| RED | Renewable Energy Directive, Förnybarhetsdirektivet |
| RFNBO | Renewable fuels of non-biological origin, elektrobränsle – ett förnybart flytande och gasformigt transportbränsle av icke-biologiskt ursprung |
| SAF | Sustainable aviation fuel, bioflygbränsle |
| Syntesgas | Är en blandning av gaserna kolmonoxid och vätgas. Kan även kallas för syngas. |
| WGS | Water gas shift, en kemisk reaktion som sker mellan kolmonoxid och vattenånga med hjälp av en katalysator, vilket bildar koldioxid och vätgas. |



Stärkta förutsättningar för produktion av SAF

1 Omvärldsbevakning – Skoglig biomassa

Just nu händer det väldigt mycket som påverkar utvecklingen av hållbart flygbränsle så kallat SAF (sustainable aviation fuel) både inom EU och Sverige. Inom EU är det framför allt det stora paketet med förslag av omarbetad och ny lagstiftning inom klimatområdet ”Fit for 55” som påverkar.⁶ Syftet med översynen av de olika EU-rättsakterna är att uppdatera dem till det nya klimatmålet på 55 procents utsläppsminskning till 2030 jämfört med 1990 års utsläpp. Förslagen som rör användning av skogsråvara påverkar det svenska skogsbruket och skogsägarna på flera sätt. Sammantaget minskar arealen som skogsbruk får bedrivas på, vissa råvaror klassas som icke hållbara, andra skötselsystem än de som används idag ska införas och nya affärsmodeller för icke ved-baserade tjänster och produkter ska utvecklas.

I Sverige har flygbranschen tillsammans med forskare inom ramen för regeringens initiativ ”Fossilfritt Sverige” bland annat tagit fram en färdplan för flygindustrin⁷ och en strategi för hur bioenergi och bioråvara ska kunna användas i industrins omställning⁸ till hållbara flygbränslen. Färdplanen har sedan konkretiserats i en rapport där branschen tillsammans med forskningsaktörer skapat underlag för gemensamma värden och budskap kring frågan om hur Sverige ställer om och skapar ett fossilfritt flyg.⁹ Under hösten 2021 och 2022 kom Vetenskapens världs serie ”Slaget om skogen” som starkt ifrågasatte nuvarande skogsbruks skötsel-

⁶ Europeiska kommissionen. (2021). Pressmeddelande 14 juli. Europeiska gröna given – EU-kommissionen föreslår att ekonomin och samhället ställs om för att infria klimatambitionerna. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/IP_21_3541 Läst: 2022-09-09

⁷ Föreningen Svenskt Flyg. (2018). Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Flygbranschen. <https://www.svensktflyg.se/wp-content/uploads/2018/04/FprocentC3procentA4rdplan-fprocentC3procentB6r-fossilfri-konkurrenskraft-flygbranschen.pdf> Läst: 2022-09-12

⁸ Fossilfritt Sverige. (2021). Strategi för fossilfri konkurrenskraft - Bioenergi och bioråvara i industrins omställning. <https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2021/11/Fossilfritt-Sveriges-biostrategi.pdf> Läst: 2022-09-12

⁹ Fossilfritt flyg 2045. (2021). Vägen till fossilfritt flyg 2045, agerande hinder och behov. <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1523448/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-09-09

regimer, nivåer på uttag och klimatnytta. Under hösten 2021 kom även Energimyndighetens svar på regeringsuppdraget att utreda vilka styrmedel som behövs för att öka den inhemska produktionen av biodrivmedel. Sommaren 2022 meddelade regeringen att de utsett Lena Ek för att utreda och ta fram ett förslag till en strategi för en hållbar, konkurrenskraftig och växande svensk bioekonomi.

Allt detta gör att Sverige befinner sig i ett vägsål där skoglig råvara kan komma att spela en betydande roll, för framtida produktion av hållbart flygbränsle baserat på skogsråvara, SAF, och andra biobaserade nyttor, eller inte. Nedan redovisas ett urval av de lagförslag, strategier, utredningar och rapporter som har möjlighet att påverka användningen av skoglig biomassa och därmed bland annat utveckling och produktion av SAF i Sverige.

EU – översikt

De olika lagförslag och strategier som påverkar möjligheten att använda skoglig biomassa har följande ursprung:

| EUs klimatlagstiftning | Har mynnat ut i: |
|-------------------------|---|
| The Green Deal | Fit for 55: LULUCF – Land Use, Land Use Change and Forestry RED III – Renewable energy directive/Förnybarhetsdirektivet Refuel Aviation EU |
| Biodiversitetsstrategin | Avskogningslagstiftning Naturrestaureringslagstiftning |



Hur dessa kan komma att påverka användning av skoglig biomassa beskrivs översiktligt nedan i Tabell 1.

Tabell 1: Översikt på europeisk lagstiftning som påverkar möjligheterna att använda skoglig biomassa.

| Lagar/tidplan | Reglerar | Trolig effekt | Påverkan på skogsbiomassa till SAF |
|---|--|---|---|
| LULUCF Trilog* hösten 2022 | Kolinlagring i skog och produkter. Totalt ska EU 2030 lagra 310 miljoner ton koldioxid-ekvivalenter. | Sverige kommer att måsta minska avverkningar pga. hög andel av den totala bördan. Sveriges andel är en sjättedel av totalen i EU. | Medel. |
| RED III Trilog* hösten 2022 | Vilka råvaror eller energislag som ska anses vara förnybara. Europaparlamentets (EP) förslag är att primär råvara inte ska anses som förnybar. Skydd av skogar. Kaskadprincipen. | Idag används cirka 10-15 TWh av primär biomassa i kraftvärmeverk i Sverige. Denna råvara måste ersättas med något annat. | Mycket hög. |
| Refuel aviation EU Trilog* hösten 2022 | Andel förnybart flygbränsle (SAF) som drivmedelsbolagen måste blanda i flygbränslet samt vilka råvaror och processvägar som premieras. Exempelvis andel avancerade drivmedel och elektrobränslen (RFNBO ¹⁰). | Stora volymer av SAF kommer att behövas. Nuvarande råvarubas av oljor, fetter och slakteriavfall behöver breddas. RFNBO får inte göras med skoglig råvara, och uppskalning av tekniken är oprövad. | Osäker men potentiellt mycket hög. |
| Avskogningsfördordningen Trilog* hösten 2022 | Begränsning av avskogning och skogsförstörelse som orsakas av konsumtion och produktion i EU. | Krav på avverkningsmetoder, skötselsystem och hållbar företagsstyrning. Produktionen få inte ge upphov till utarmning av skogar. Definitioner på olika begrepp kommer att tas fram (avskogning, skog, jordbruksplantage, plantage-skog, planterad skog, utarmning av skogar, hållbara avverkningsförfaranden och avskogningsfri). | Medel. Beror på vilka definitionerna blir. Innehåller ett förslag om att EU-länder ska klassas i tre risknivåer. Ju högre risk ju mer redovisnings-skyldighet. Kan resultera i att banker inte kan låna ut pengar till skogsrelaterad verksamhet. |

* Förhandling mellan kommissionen, parlamentet och rådet.

¹⁰ Renewable fuels of non-biological origin.

| Lagar/tidplan | Reglerar | Trolig effekt | Påverkan på skogsbiomassa till SAF |
|--|---|---|--|
| <p>Lagen om restaurering av natur</p> <p>Förslaget kom juni 2022, ska nu beredas i parlamentet</p> | <p>Syfte är att bidra till en kontinuerlig, långsiktig och uthållig återhämtning av biologisk mångfald och motståndskraftig natur genom restaurering av ekosystem, livsmiljöer och arter. Till 2030 ska det ha restaurerats 20 procent av unionens land och havsområden. Konkreta och tidsatta krav enligt art- och habitatsdirektivet.</p> | <p>Kan påverka hur stor andel av skogsmarken som får brukas och vilka skötselmetoder som får användas.</p> | <p>Mycket stor.</p> <p>Hur stor beror på hur Sverige agerar avseende hur vi rapporterar hur mycket skog som är skyddad och vilken referensnivå som ska användas när ekosystem ska restaureras.</p> |
| Strategi/tidplan | | | |
| <p>Skogsstrategin</p> <p>Antagen av parlamentet hösten 2022</p> | <p>Strategin ska bidra till att uppnå EUs klimatmål och FNs mål om hållbar utveckling. Fokuserar på definitioner av hållbart skogsbruk, icke vedbaserade produkter, skydd av "primary" och old "growth forests".</p> | <p>Kan leda till betydande systemförändringar för skogssektorn, genom en övergång från främst virkesbaserade till mer komplexa intäktsströmmar.</p> | <p>Medel.</p> <p>90 procent av EUs "primary" och "old growth forests" finns i 4 länder (Sverige, Finland, Bulgarien och Rumänien) och Sverige har mest av dessa 4. Om allt ska skyddas kommer det att påverka skogsbruket.</p> |



EU – fördjupat

Fit-for-55 paketet presenterades i juli 2021 och innehåller 12 lagförslag, varav åtta handlar om att mer eller mindre radikalt förändra existerande lagstiftning, medan fyra är förslag om helt ny lagstiftning. Tre av lagstiftningarna – Utsläppshandelsdirektivet, Ansvarsfördelningsförordningen och LULUCF-förordningen – utgör den hårda kärnan i EUs klimatlagstiftning. De bägge första sätter absoluta tak för hur stora utsläppen får vara inom respektive utanför utsläppshandelsystemet. LULUCF-förordningen sätter på motsvarande sätt ett golv för hur mycket de naturliga kollagren minst måste växa. De lagförslag i Fit-for-55 som framför allt påverkar Sveriges möjlighet att utveckla SAF med skoglig biomassa som råvara är LULUCF-förordningen, Förnybarhetsdirektivet och Förordningen om hållbara bränslen inom luftfart – ReFuel Aviation.

Lagstiftning som ändras i och med Fit -for -55:

- A. Utsläppshandelsdirektivet (EU ETS) – (egentligen tre förslag, varav två enbart berör flyget)
- B. Ansvarsfördelningsförordningen (ESR)
- C. LULUCF-förordningen
- D. Energiskattedirektivet
- E. Förnybarhetsdirektivet
- F. Energieffektiviseringsdirektivet
- G. Förordningen om bilar och koldioxid
- H. Förordningen om infrastruktur för alternativa drivmedel

Ny föreslagen lagstiftning:

- I. Förordningen om en gränsjusteringsmekanism för koldioxid (Carbon Bord Adjustment Mechanism (CBAM) – ”koldioxidtull”)
- J. Förordningen om hållbara bränslen inom luftfarten (”ReFuel Aviation”)
- K. Förordningen om förnybara bränslen och bränslen med låga koldioxidutsläpp inom sjöfart (”FuelEU Maritime”)
- L. Förordningen om att inrätta en social klimatfond

LULUCF-förordningen

I linje med uppgörelsen om klimatlagen föreslås medlemsstaterna bli skyldiga att bidra till att nettoutsläppet av koldioxid i landskapet och i träprodukter inom unionen 2030 uppgår till minst 310 miljoner ton CO₂eq. Av detta får högst 225 miljoner ton utnyttjas för att uppfylla kravet om en minskning av unionens nettoutsläpp 1990–2030 med minst 55 procent.

Under de senaste decennierna har de naturliga kollagren inom unionen årligen oftast vuxit med över 300 miljoner ton CO₂eq per år. Under senare år har tillväxten dock fallit ned mot 250 miljoner ton per år – det beror bland annat på ökade virkesuttag och lägre tillväxt. Av det nya målet på 310 miljoner ton CO₂eq, föreslås Sverige bidra med 47 miljoner ton, drygt 10 miljoner ton mer än nuvarande årliga ökning av kollagret, mest av alla medlemsstater. Andra länder som föreslås ge stora bidrag är Spanien (44 Mton CO₂eq), Polen (38 Mton CO₂eq), Italien (36 Mton CO₂eq) och Tyskland (31 Mton CO₂eq). Vissa medlemsstater föreslås däremot kunna urholka sina naturliga kollager – Danmark med över 5 Mton CO₂eq per år, Nederländerna med 4,5 Mton CO₂eq.

Energimyndigheten har i sitt yttrande angående förslaget angivit att de anser att det svenska målet om ökat nettoupptag är oproportionerligt högt och kan bli bromsande för utveckling av hållbar bioekonomi. Skogsindustrierna beräknar att ökningen på 10 miljoner ton CO₂eq motsvarar en minskning av det årliga uttaget av skog i Sverige med 15 procent.

Förnybarhetsdirektivet

Det unionsövergripande målet för den förnybara energins andel av energitillförseln 2030 föreslås höjas från 32 till 45 procent. De finns inga specificerade krav på andelen förnybart i respektive medlemsstat, men medlemsländerna måste i de nationella energi- och klimatplaner, som de regelbundet måste lämna till kommissionen, visa hur de tänker bidra till det övergripande målet på 45 procent.¹¹

Det nuvarande kravet på EU-länderna att minst 14 procent av energianvändningen inom transportsektorn ska utgöras av förnybar energi, till 2030, föreslås ersättas av en reduktionsplikt, liknande den som gäller i Sverige för bensin, diesel och flygfotogen. För transportsektorn uttrycks det nya målet som en minskning av växthusgasintensiteten för drivmedel, ungefär som den svenska reduktionsplikten, om 13 procent till 2030. Det beräknas enligt kommissionen motsvara en förnybart-andel om 28 procent, d.v.s. en fördubbling från dagens 14 procent. Vidare föreslås en ambitionshöjning för avancerade drivmedel från 3,5 procent dubbelräknat till 2,2 procent faktiska procentenheter. Detta kommer att vara ett starkt incitament för investeringar i produktion av avancerade biodrivmedel.

Problemen med indirekta markförändringar har visat sig så pass stora och svåra att kvantifiera att EU har anammat en försiktighetsprincip och redan i RED II begränsade de därför användandet av alla grödebaserade biodrivmedel till 7 procent eller 2019 nivå. Denna begränsning av grödebaserade drivmedel är kvar i det reviderade förslaget av förnybarhetsdirektivet.

Förnybarhetsdirektivets viktigaste roll i förhållande till de nationella klimatmålen är förmodligen att direktivets hållbarhetskrav fungerar som villkor för att bioenergi ska få bokföras för nollutsläpp enligt utsläppshandelsdirektivet, ESR, ReFuel-förordningen, men också relativt den svenska reduktionsplikten och målen i det svenska, klimatpolitiska ramverket.

Hållbarhetskraven föreslås också ligga till grund för den differentiering av minimiskatterna som förslaget om energiskattedirektivet innehåller. Kommissionen föreslår att hållbarhetskraven skärps, framför allt genom nya krav om naturanpassning av skogsbruket i samband med uttag av virke. Det föreslås exempelvis att skogsägare ska undvika uttag av död ved, stubbar och rötter, att hyggesstorleken ska hållas nere och att de ska avstå från åtgärder som negativt påverkar den biologiska mångfalden.

Svenska aktörer som uttryckt farhågor runt den nya lagstiftningen är bland annat branschorganisationen Skogsindustrierna samt Svebio. I oktober 2021 skrev Skogsindustrierna att de uppmanar Europaparlamentet och rådet att förkasta alla REDIII-förslag som inför nya regler och kriterier för skogsbiomassa. Det inkluderar i första hand "no-go-områden", avverkningskriterier och utökade lagstiftning om kaskadanvändning och de delegerade akterna

¹¹ Europeiska kommissionen. (2021). Commission presents Renewable Energy Directive revision. https://ec.europa.eu/info/news/commission-presents-renewable-energy-directive-revision-2021-jul-14_en Läst: 2022-09-09

som hör till detta. De invänder även mot att hållbarhetskriterier för bränsle ska börja gälla vid 5 MW och därmed nya rapporteringskrav samt att det införs retroaktiva växthusgaskriterier. De stödjer inte heller förslaget som rör ”förnybara bränslen av icke biologiskt ursprung” (RFNBO), ibland benämnt elektrobränslen, där energin i tillverkningsprocessen kommer från el. Begreppet inkluderar förutom vätgas även andra nya typer av bränslen som inte finns på marknaden ännu.

När förhandlingarna mellan rådet, parlamentet och kommissionen påbörjas hösten 2022 har parlamentet röstat igenom ytterligare skärpningar av vilken biomassa som ska få användas till bioenergi. Parlamentets ståndpunkt är att enbart sekundär biomassa ska vara godkänd för detta, inte primär biomassa. Den primära biomassan föreslås fasas ut helt till 2030. Sekundär biomassa är exempelvis bark och spån som faller ut vid massabruk och sågverk medan primär biomassa kan vara grot (grenar och toppar), rundved som ratas av sågverk och massaindustri, insekts skadat virke, klenstammar från vägkanter och ved som används av privatpersoner för uppvärmning. Idag används cirka 10–15 TWh grot för att producera värme i kraftvärmeverk i Sverige. Om denna råvara inte längre skulle klassas som förnybar uppstår ett motsvarande stort behov av annan råvara. Följderna av detta är svåra att överblicka men det kommer att påverka såväl totalaffären för skogsägare, dagens användare av råvaran, användningen av den sekundära biomassan och förmodligen försena satsningar på drivmedelstillverkning baserad på sekundär biomassa samt omöjliggöra BECCS (bioenergy carbon capture and storage).¹²

Förordningen om hållbara bränslen inom luftfart - ReFuel Aviation

Förslaget innebär att drivmedelsbolagen från och med 2025 blir skyldiga att successivt öka volymandelen ”sustainable aviation fuels” (SAF) i flygbränslet (Tabell 2) och att flygplatsägarna måste utrusta sina anläggningar för hållbara flygbränslen och elektricitet. För att minimera risken för ekonomitankning, det vill säga att flygplanen tankas med mer flygbränsle än nödvändigt på en viss flygplats där bränslet är billigt, blir flygbolagen skyldiga att tanka minst 90 procent av bränslebehovet på avgångsflygplatserna. Samtliga dessa krav gäller endast vid flygplatser med mer än 1 miljon passagerare per år (i Sverige 2019 Kallax, Arlanda, Bromma, Skavsta, Landvetter och Skurup).

Tabell 2: Föreslagna nivåer för att successivt öka volymandelen ”sustainable aviation fuels” (SAF) i flygbränslet.

| År | Volymandel sustainable aviation fuels, SAF | Varav förnybara bränslen av icke biologiskt ursprung (RFNBO) |
|------|--|--|
| 2025 | 2procent | |
| 2030 | 5procent | 0,7procent |
| 2035 | 20procent | 5procent |
| 2040 | 32procent | 8procent |
| 2045 | 38procent | 11procent |
| 2050 | 63procent | 28procent |

Att RFNBO kvoterats in så tydligt har ifrågasatts eftersom teknikerna för bränslet är utvecklade. Att inte CO₂ från exempelvis kraftvärmeverk eldade med biomassa är godkänd är enligt Sveriges sätt att se det kontraproduktivt, men ligger i linje med EUs syn på vilka råvaror som är hållbara.

¹² Svebio, Swedish Bioenergy Association. (2022). How restrictions on “primary woody biomass” will impact Swedish energy and climate development. <https://www.svebio.se/wp-content/uploads/2022/11/Primary-woody-biomass-impact-assessment.pdf> Läst: 2022-12-08

Avskogningsförordningen¹³

Syftet med denna lag är att begränsa avskogning och skogsförstörelse som orsakas av konsumtion och produktion i EU. Från att tidigare endast reglera import och handel med olagligt avvercade trävaror genom timmerförordningen vill EU-kommissionen, i avskogningsförordningen, ha med trä i produktgruppen som även reglerar handel med livsmedlen nötkött, kakao, kaffe, palmolja och soja. Kraven som ställs för att trä ska vara godkänt för export och import rör avverkningsmetoder och skötselsystem.

Förslaget är delvis svårtolkat eftersom det innehåller många olika begrepp som inte har en EU-gemensam accepterad definition. Följande begrepp bedömer kommissionen som relevanta för tillämpningen av förordningen; "avskogning", "skog", "jordbruksplantage", "plantageskog", "planterad skog", "utarmning av skogar", "hållbara avverkningsförfaranden" och "avskogningsfri".

Verksamhetsutövare ska, i fallet med träprodukter, bevisa att produktionen inte gett upphov till utarmning av skogar. Detta ska ske genom ett system för "tillbörlig aktsamhet" (due diligence).

Kraven på "tillbörlig aktsamhet" inom ramen för initiativet om hållbar företagsstyrning kan potentiellt innebära att vissa avverkningsmetoder klassas som att de inte kan utföras med "tillbörlig aktsamhet" och att produkterna därmed inte kan säljas. Förslaget kan även innebära att banker och andra finansiella institut inte får låna ut pengar till kunder för skogsrelaterad verksamhet, om det finns mer än en försumbar risk att kunden inte efterlever kraven på vad som avses med avskogning eller skogsförstörelse.

Förordningen om restaurering av natur¹⁴

I juni 2022 kom förslaget från EU-kommissionen om återställande av natur. Lagförslaget syftar till att bidra till en kontinuerlig, långsiktig och uthållig återhämtning av biologisk mångfald och motståndskraftig natur genom restaurering av ekosystem, livsmiljöer och arter. Det är försenat och kritiserat från flera håll eftersom det potentiellt minskar produktionen på åker- och i skogsmark, samtidigt som kriget i Ukraina påverkar såväl livsmedelsförsörjning som energitillgång.

Förslaget är omfattande. Det gäller hela EU:s land- och vattenyta och målen som medlemsländerna ska uppnå i olika typer av miljöer föreslås bli mycket specifika och bindande med sanktionsmöjligheter. Det handlar om gröna stadsmiljöer och om mer "natur" överallt, fler naturbeten och utmarksbeten och förstörd natur, inklusive EU:s skogar ska lagas och restaureras. Restaureringen ska utgå från en referensnivå. Det är fortfarande oklart hur denna ska sättas. Idag använder Sverige en referensnivå som utgår från "förindustriell tid" medan andra medlemsstater använder årtalet då de gick med i unionen.

När det gäller förslagens påverkan på skogsbruket ser den ut att på sikt bli ganska stor men är svårbedömd. Riksdagen beslutade i september 2022 att lämna invändningar i ett motiverat yttrande till Europaparlamentet, ministerrådet och EU-kommissionen eftersom de anser att förslaget inte är förenlig med subsidiaritetsprincipen. Lantbrukarnas Riksförbund, LRF, bedömer att 3,5 miljon skogsmark behöver tas ur bruk och att det kommer att kosta

¹³ Council of the European Union. (2021). <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14151-2021-INIT/en/pdf> Läst: 2022-09-22

¹⁴ Europeiska unionens råd. (2022). <https://www.regeringen.se/49f43d/contentassets/d5414b47c46d4c05a4bb112bf5b7e736/eu-kommissionens-for-slag-till-forordning-om-restaurering-av-natur.pdf> Läst: 2022-09-22

skattebetalare 350 miljarder kronor.¹⁵ Skogsindustrierna har räknat ut att andelen ekskogar enligt förslaget behöver femfaldigas och att om det ska ske behöver åkermark i södra Sverige tas ur bruk för ekodling.¹⁶ Flera svenska aktörer har påpekat vikten av att lagförslaget måste referera till en EU-gemensam referensnivå.

Skogsstrategin

I juli 2021 kom kommissionen med sitt slutliga förslag till ny skogsstrategi. Jämfört med svensk skogspolitik och lagstiftning så betonar den bevarande-frågor och icke vedbaserade produkter, det vill säga andra nyttor från skogen än de vedbaserade. Där traditionellt skogsbruk ska bedrivas så föreslås att andra skötselregimer än kalhyggesbruk ska användas. I strategin förespråkas skötselssystem som skapar olikåldriga bestånd med många olika trädarter och att kontinuitetsskogsbruk ska tillämpas. I kontinuitetsskogsbruk ingår inte en hyggesfas, marken ska ständigt ha stående skog och skörd görs vid upprepa-de tillfällen av enstaka träd i bestånden. Kalhyggesbruk ska endast tillämpas i "vederbörligen motiverade fall".

Strategin tar avstamp i fyra punkter:

1. Den ska bidra till att uppnå EU:s mål för minskning av växthusgasutsläpp på minst 55 procent år 2030 både genom att fungera som kolsänka och genom att ersätta fossila källor.
2. Skördade träprodukter i EU står för en aktiv kolsänka på cirka -40 MtCO₂e/år, samtidigt som de genererar klimatfördelar genom en materialbyteeffekt, på mellan -18 och -43 MtCO₂e/år.
3. Den ska öka den icke vedbaserade ekonomiska verksamheten för att diversifiera lokala ekonomier och jobb på landsbygden.
4. Strategin menar att den traditionella skogsindustrin står för ett årligt bruttovärde på knappt 110 miljarder EURO, trämöbelindustrin 21 miljarder och industrin som trycker böcker och tidningar för 31 miljarder. Den uppger även att den icke vedbaserade industrin är lika viktig och den kvantifierar man till 19,5 miljarder EURO per år.

Förslag i strategin som drastiskt kan påverka tillgång och pris på svensk skogs-råvara är:

1. En **övergång till kontinuitetsskogsbruk** i stället för kalhyggesbruk, kommer att resultera i högre priser på biomassan bland annat eftersom uttaget per ytenhet blir avsevärt lägre. Det innebär även att skogsbruk måste bedrivas på större arealer för att få ut lika mycket råvara.
2. **Ökning av arealer där skogsbruk ej får bedrivas.** All "old growth" och "primary forests" ska skyddas helt. Definitionerna på dessa begrepp ska tas fram.
3. Incitament för att använda skogsmarken för **kol-lagring** och biodiversitet. Med utveckling av **betalningssystem för ekosystemtjänster och implementering av ett system för att odla skog för att binda koldioxid** kommer virkesuttag på dessa marker mest sannolikt att minska.

¹⁵ Sjöblom, J. (2022). LRF kritiska till EU-förslagen: Vi borde fokusera på att producera mer mat och förnybar energi" <https://www.lrf.se/nyheter/riks/2022/06/lrf-kritiska-till-eu-forslagen/> Läst: 2022-09-27

¹⁶ Föreningen Skogsindustrierna. (2022). EU:s mål att återställa natur måste balanseras med andra samhällsmål. <https://www.skogsindustrierna.se/aktuellt/nyheter/2022/06/EUs-mal-om-naturrestaurering/> Läst: 2022-09-27

- Ekosystemåterställning. Med krav på hänsyn till fåglars häckning, **mer lövträd, fullskiktade bestånd eller kontinuitetsskogsbruk** minskar tillväxten. **Eventuella krav på lättare maskiner** för att minska markskador kan betyda mindre skogsmaskiner och därmed dyrare råvara eftersom de måste köra fler gånger.

Många medlemsländer har framfört skarp kritik mot förslaget. Innehållet i strategin kritiserar för att den försöker detaljstyra skogspolitiken och för att fokus ligger för smalt på miljöfrågor. Kritik från skogsindustrin och skogsägare i Sverige handlar bland annat om att detaljeringsnivån i strategin är orimlig ur ett svenskt perspektiv. Förutsättningarna i Sverige skiljer sig från många andra EU-länders förutsättningar. Strategin saknar till stor del förståelse för de komplexa och välutbyggda system och lagar vi har som rör skog i Sverige i dag. Miljörörelsen har däremot varit väldigt positiv till föreslagna strategi.

Sverige – översikt

De olika strategier och utredningar som genomförts konstaterar att det behöver införas en avancerad kvot för drivmedel baserad på skoglig biomassa för att få till stånd en storskalig produktion i landet. Utan detta kommer målen för transportsektorn att uppnås med framför allt importerade bränslen.

Vid en eventuell inhemsk produktion av biodrivmedel kommer de outnyttjade råvarupotentialer som Fossilfritt Sverige räknat med, förmodligen bedömas som "icke hållbara" i den nya föreslagna EU-lagstiftningen.

Sverige har under de senaste 100 åren ökat sitt virkesförråd från 1,7 miljarder m³sk (skogskubikmeter) till cirka 3,6 miljarder m³sk, samtidigt som knappt 6 miljarder kubikmeter har använts till sågade trävaror, massa och papper samt energi. Under åren 2012–2018 har virkesförrådet ökat mindre än mellan 2005–2012. Minskningen beror främst på sämre tillväxtförutsättningar det vill säga en kombination av temperatur och nederbörd.¹⁷

Sverige – fördjupat

Biostrategi från Fossilfritt Sverige

Inom ramen för Fossilfritt Sverige har näringslivets branscher tagit fram 22 färdplaner för fossilfri konkurrenskraft. För att stödja färdplanerna har även olika strategier, som kan bidra till att flera branscher blir fossilfria, tagits fram. Strategierna är framtagna i samverkan med olika företag i respektive värdekedja. Hösten 2021 kom strategin för "Bioenergi och bioråvara i industrins omställning".¹⁸ Det sammanlagda behovet av bioenergi och bioråvara som uttrycks i de olika färdplanerna skulle, enligt Fossilfritt Sverige, kräva en kraftigt ökad import av biobränsle. Men med effektivisering, ny teknik och en ökad förädling av de svenska bioråvarorna med hjälp av pris-mekanismen menar strategin att det är möjligt att öka den svenska exporten av tekniska lösningar och biobaserade produkter så att utsläppsminskningar även i andra länder kan påskyndas.

De prioriterade förslag som strategin föreslår är:

- För att säkra fortsatt skattebefrielse för rena och höginblandade biodrivmedel, bör regeringen verka för att EU-kommissionens förslag om att ge

¹⁷ SLU, Sveriges lantbruksuniversitet. (2022). Volymtillväxten för träd i Sverige under 00-talet. Arbetsrapport 540. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/arbetsrapport_540.pdf Läst: 2022-11-09

¹⁸ Fossilfritt Sverige. (2021). Strategi för fossilfri konkurrenskraft - Bioenergi och bioråvara i industrins omställning. <https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2021/11/Fossilfritt-Sveriges-biostrategi.pdf> Läst: 2022-09-12

utrymme för detta inom statsstödsregelverket genomförs (punkt 77 i CEEAG). Fram till att denna förändring finns på plats bör nuvarande skatteundantag förlängas. I det fall skatteundantag inte beviljas på sikt, så är ett alternativ att inkludera rena och höginblandade biodrivmedel i reduktionsplikten.

2. Regeringen bör stimulera den inhemska produktionen av biodrivmedel från lignocellulosa, exempelvis genom en avancerad kvot i reduktionsplikten som bör kunna införas 2024.
3. Regeringen bör senast 2022 fastställa inblandningsnivåer i reduktionsplikten för flygfotogen för åren 2030–2045 och verka för att EU sätter likvärdiga mål. Slutmålet bör vara 100 procents inblandning år 2045 i båda fallen.
4. Regeringen bör under 2022 införa de mål för kompletterade åtgärder som föreslås i Vägvalsutredningens betänkande (SOU 2020:4) där inriktningen för bio-CCS (Carbon Capture and Storage) är upp till 10 miljoner ton per år.

Strategin har valt följande utgångspunkter för hållbar försörjning och användning av bioråvara:

- Den rimliga systemgränsen är inte trädet eller hygget utan den nationella ytan där Sverige har rådighet och ansvarar för inför FN.
- Fokus ligger på tillgång och användning av jord- och skogsbrukets bi- och restprodukter, det vill säga bioråvara utanför den traditionella skogsindustrin samt från jordbrukets mat- och foderproduktion. Sågtimmer, massaved, fodergrödor och matgrödor ingår alltså inte i de uppskattningar av tillgång och efterfrågan som anges, undantaget dagens användning av vete och raps till biodrivmedelsproduktion. Utgår från och planerar för att bibehålla nuvarande infrastruktur samt att inga disruptiva innovationer förväntas.
- Utgår från samma procentuella avverkningsnivåer som idag.
- Strategin utgår ifrån att Sverige 2045 ska vara netto exportör av biobaserade produkter för energiändamål och industriell användning utanför traditionell skogsindustri.
- Höjda priser för bioråvara antas.

Sammanfattningsvis konstateras i strategin att:

- Dagens användning av oförädlad bioenergi är cirka 158 TWh, varav 26 TWh importeras som biodrivmedel till framför allt transportsektorn.
- Till 2030 bedöms behovet av oförädlad bioråvara öka till cirka 193 TWh. Ökningen beror till stor del på vägtransportsektorns behov av biodrivmedel. Importen av biodrivmedel vid denna tidpunkt väntas ligga kvar på samma nivåer som idag, men representerar en mindre andel av den totala mängden biodrivmedel eftersom det föreslås en ökning av den inhemska produktionen.

- Till 2045 bedöms behovet av oförädlad bioråvara minska till cirka 185 TWh och import av råvaror upphöra. Av dessa 185 TWh bedöms 50 TWh utgöra inhemskt producerat bränsle för utrikes transporter (flyg och sjöfart) eller export.
- Uppskattningar utifrån de framtida maximala behoven som uttrycks i färdplanerna för fossilfri konkurrenskraft samt andra publicerade studier¹⁹ förväntas innebära en ökning till 241 TWh till 2045, vilket skulle förutsätta stor import.

Biomassa som strategin pekar ut som möjlig att använda

Utöver dagens användning av oförädlad bioenergi, 158 TWh, beräknas i strategin att det ska finnas potential till ytterligare cirka 40 TWh bioråvara om året till 2030. År 2045 är motsvarande siffra cirka 53 TWh per år. Se Tabell 3. Slytäkt är tillvaratagande av unga träd och buskar, ofta av lövtyp, som finns till exempel längs vägar, i kraftledningsgator, i åkerkanter och i igenväxande betesmarker. Om dessa räknas som skog kommer drygt 25 TWh från skogen 2030 och drygt 35 TWh från skogen 2045. Se Tabell 3.

Samtliga skogliga sortiment i de outnyttjade potentialerna är vad EU-parlamentet kallar primär biomassa som föreslås fasas ut mellan 2022-2030.

Tabell 3: Uppskattad ökad potential för råvaror från bioråvara från skogs- och jordbruk. Alla värden i TWh/år.

A: För dessa poster anges inte råvaruenergin utan potentialen för biogasproduktion, eftersom verkningsgraden i omvandlingen är så olika. Med restprodukter avses till exempel gödsel. B: Från trädesmark är vall troligen den viktigaste råvaran, som inte utnyttjas idag.

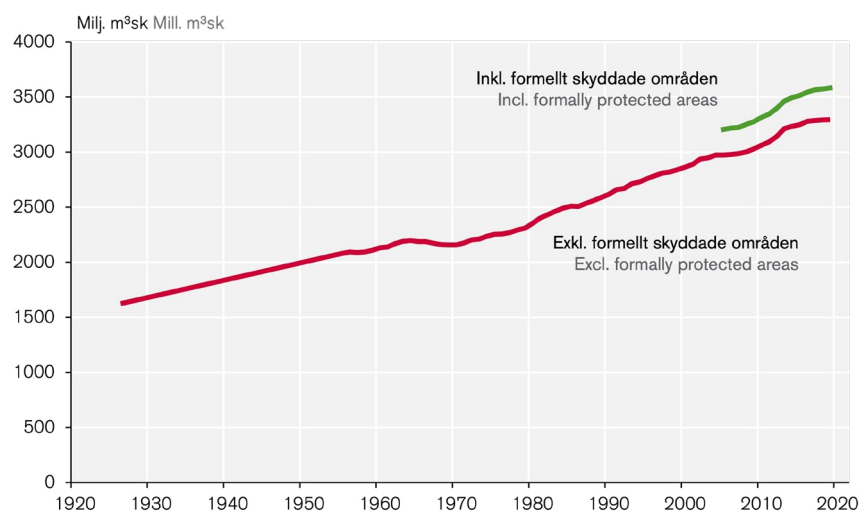
| | 2030 | 2045 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| Skog | | |
| Grenar och toppar | 16-18 | 18-21 |
| Skadad rundved | 3-4 | 3-4 |
| Klen rundved (röjningar mm) | 2-3 | 3-4 |
| Delsumma | 21-25 | 24-29 |
| Jordbruk | | |
| Halm | 2-4 | 2-4 |
| Restprodukter biogas | 4-6 A | 4-6 A |
| Trädesmark B | 3-4 | 5-7 |
| Energiskog på nedlagd mark | | 2-6 |
| Delsumma | 9-14 | 13-23 |
| Slytäkt | 5-8 | 8-10 |
| Totalsumma | 40 (35-47) | 53 (45-62) |

¹⁹ Material Economics. (2021). Klimatagenda för Sverige – en plan som kombinerar netto-noll utsläpp med industriellt värdeskapande.

Skogstillgångar i Sverige

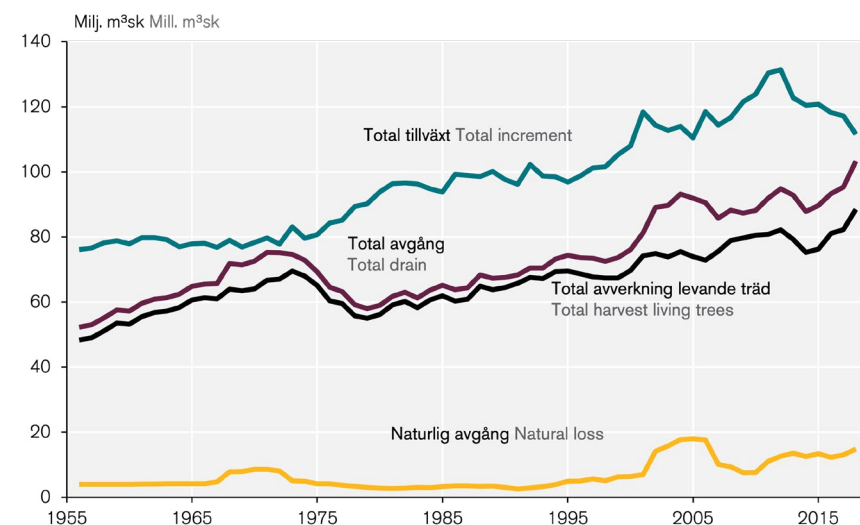
Enligt Riksskogstaxeringen, som är ansvariga för Sveriges officiella statistik angående skogen, uppgår Sveriges landareal till 40,7 miljoner hektar varav 27,9 miljoner hektar är skogsmark. Av dessa är 23,4 miljoner hektar produktiv skogsmark. Vid mitten av 1920-talet uppgick det totala virkesförrådet, inklusive arealer inom dagens skyddade områden, till 1 720 miljoner m³sk. Idag är motsvarande siffra 3 558 miljoner m³sk exklusive virkesförrådet i fjällen och 3 583 inklusive virkesförråd i fjällen (Figur 1). Det motsvarar en ökning med 107 procent på drygt 90 år. Omräknat till torrsubstans (TS), vilket är en viktig uppgift i klimatrapporeringssammanhang, uppgår mängden trädbiomassa på all mark, inklusive fjällen, idag till 2 692 miljoner ton TS.²⁰

Figur 1: Virkesförrådets utveckling 1920-talet till 2020. Källa: Riksskogstaxeringen.



Tack vare en aktiv skogsskötsel under de senaste 100 åren har tillväxten i skogen kontinuerligt ökat och därmed har även avverkningarna kunnat ökas. Avverkning samt naturlig avgång har däremot aldrig överskridit tillväxten (Figur 2).

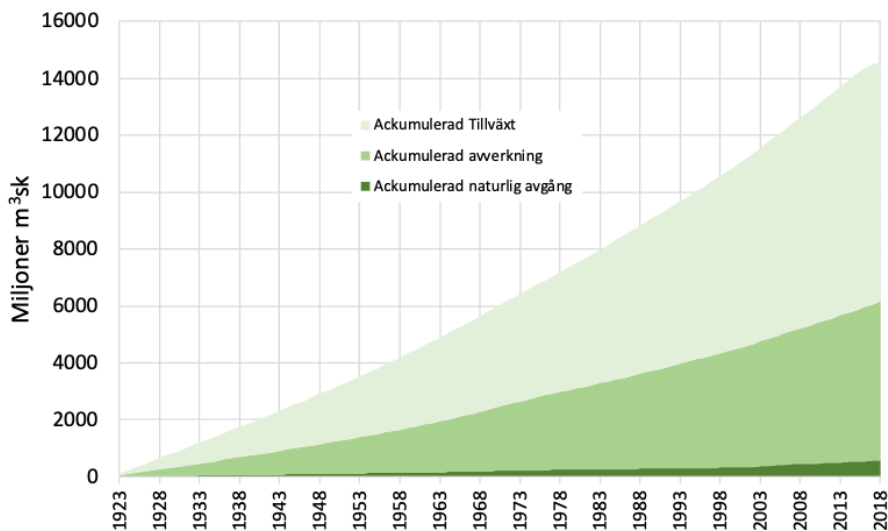
Figur 2: Total tillväxt, total avgång, total avverkning samt naturlig avgång 1955-2017. Källa: Riksskogstaxeringen.



²⁰ Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet Umeå. (2022). Skogsdata 2022. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2022_webb.pdf Läst: 2022-11-09

Samtidigt som virkesförrådet byggs upp har sedan 1920 talet knappt 6 miljarder kubikmeter skogsbiomassa använts, till sågade trävaror, massa och papper samt energi, både för den inhemska marknaden och export (Figur 3).

Figur 3: Ackumulerad tillväxt, avverkning samt naturlig avgång i Sverige 1923–2018.
Källa: Riksskogstaxeringen.



Under hösten 2022 har både Naturvårdsverket och Skogsstyrelsen uppmärksammat att den årliga volymtillväxten i Sverige har minskat om man jämför perioden 2005–2012 med perioden 2012–2018. Detta påpekade Riksskogstaxeringen redan 2019. Den årliga volymtillväxten i Sverige ökade med cirka 20 miljoner m³ sk, från 111 till 131 miljoner m³ sk, eller 19 procent, under perioden 2005 till 2012.

Den årliga volymtillväxten i Sverige minskade med cirka 20 miljoner m³ sk, från 131 till 112 miljoner m³ sk, eller 15 procent, under perioden 2012 till 2018.

Det är alltså den årliga räntan på skogskapitalet som minskat, medan virkesförrådet fortsätter att öka. Fluktuationer i tillväxt har förekommit sedan mätningarna började (Figur 3) Den minskade volymtillväxten 2012–2018 beror främst på ogynnsamma tillväxtförutsättningar det vill säga en kombination av temperatur och nederbörd.²¹

Behov och utformning av styrmedel för att främja produktion av biodrivmedel med nya tekniker²²

Energimyndigheten kom i början av hösten 2021 med en rapport som svarade mot det uppdrag de fått av Regeringen att:

A. analysera behovet av ytterligare styrmedel för att främja biodrivmedelsanläggningar med teknik som befinner sig bortom demonstrationsnivå där kostnaden för den första fullskaliga produktionsanläggningen är för hög för att drivmedlet ska vara konkurrenskraftigt,

B. analysera hur eventuella sådana styrmedel skulle kunna utformas med hänsyn till marknadens funktion och rättsliga förutsättningar

²¹ SLU, Sveriges lantbruksuniversitet. (2022). Volymtillväxten för träd i Sverige under 00-talet. Arbetsrapport 540. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/arbetsrapport_540.pdf Läst: 2022-11-09

²² Energimyndigheten. (2021). "Styrmedel för nya biodrivmedel Behov och utformning av styrmedel för att främja produktion av biodrivmedel med nya tekniker". ER 2021:22

C. ta fram en prognos för hur produktionskapaciteten av hållbara biodrivmedel i Sverige väntas öka givet de existerande och aviserade styrmedel som finns, och ta fram en prognos för hur snabbt produktionskapaciteten av hållbara biodrivmedel i Sverige kan öka om ytterligare styrmedel införs.

Även om uppdraget gäller biodrivmedel för vägtransporter så har de föreslagna åtgärderna möjlighet att påverka en framtida produktion av SAF i en positiv riktning.

Förslag till stöd för ökad produktion av biodrivmedel från inhemsk råvara

Energimyndigheten föreslår en kombination av investeringsstöd, i form av Industriklivet, och en riktad kvot i reduktionsplikten för råvaror som främst består av skoglig biomassa och därmed inte kan omvandlas till biodrivmedel med etablerade tekniker. Kvoten föreslås gälla lika för bensin och diesel och öka från 0,7 procent 2024 till 15,9 procent 2030. Däremot föreslås i dagsläget ingen riktad kvot för flygbränsle då bränslestandarderna för flyget begränsar vilka råvaror som kan användas. Avsikten är att de nya teknikerna med tiden ska kunna klara sig på egna meriter och kvoten därmed avskaffas. Förslagen behöver ta hänsyn till att de aktuella investeringarna kräver långa avskrivningstider och att det därmed behöver finnas en långsiktighet i den riktade kvoten.

Förslaget innebär att Industriklivet behöver förstärkas med knappt 1,2 miljarder kronor årligen under perioden 2023–2026. Energimyndigheten påpekar också att det är möjligt att flera aktörer vars tekniker i dagsläget inte är kända eller har låg mognadsgrad tillkommer även efter 2026.

Bakgrund till förslaget

Bakgrunden till Energimyndighetens förslag är att de svenska styrmedlen för att främja biodrivmedel hittills främst har riktats mot användarsidan. Framför allt reduktionsplikten väntas driva fram en kraftigt ökad biodrivmedelsanvändning, i storleksordningen 50 TWh, till 2030.

De befintliga, i huvudsak fossilbaserade raffinaderierna planerar att möta reduktionsplikten genom att i motsvarande grad öka sin förmåga att producera biodrivmedel. Dessa biodrivmedel väntas framför allt utgöras av konventionell HVO från till exempel animaliska fetter och använda frityroljor, i huvudsak importerade.

Energimyndigheten konstaterar att det finns svenska råvaror som i högre grad skulle kunna utnyttjas. Uttaget av biomassa i Sverige bedöms kunna öka med runt 50 TWh till 2030 inom hållbara ramar, vilket motsvarar runt 30 TWh om allt skulle omvandlas till biodrivmedel. Denna biomassa består dock i huvudsak av restprodukter från jord- och skogsbruk som grenar och toppar, bark, sågspån, lignin och halm, vilka i motsats till konventionella råvaror för biodrivmedelsproduktion bygger på skoglig biomassa snarare än socker, stärkelse, oljor och fetter. För att omvandla dessa råvaror till biodrivmedel krävs nya tekniker som ännu inte används kommersiellt.

Utredning för en nationell bioekonomistrategi

I juli 2022 meddelade regeringen att de utsett Lena Ek för att utreda och ta fram ett förslag till en strategi för en hållbar, konkurrenskraftig och växande svensk bioekonomi.

I uppgiften ingår att ge förslag till ett eller flera uppföljningsbara mål och, vid behov förslag på åtgärder, som gynnar en växande bioekonomi. Utredaren ska också analysera genomförbarheten i, och om lämpligt, föreslå åtgärder som främjar effektiv produktion av flytande biodrivmedel baserat på inhemska råvaror i Sverige, inklusive ett eller flera alternativa förslag till långsiktigt produktionsstöd.

Uppdraget om produktion av biodrivmedel ska redovisas senast den 15 februari 2023. Uppdraget i övrigt ska redovisas senast den 31 oktober 2023.





1.1 Flöden av skogsindustrins biprodukter – Nuläge och en 2030-analys

1.1.1 Dagens marknadssituation för de fyra nordligaste länen

För lönsam produktion av SAF behövs stora mängder biomassa. Helt avgörande för en lönsam investering är etablering av ett stabilt råvaruförsörjnings system som under flera decennier framåt kontinuerligt kan leverera biomassa till ett acceptabelt pris och med en kvalitet som gör att processen fungerar stabilt. Oförädlad biomassa har ofta en hög fukthalt och låg energidensitet vilket gör transporter över långa avstånd kostsam. Det betyder att tillgängligheten av biomassa i närområdet är helt avgörande. Den största volymen biomassa bör därför finnas tillgänglig inom 10 mils radie. Transporter med tåg via terminaler kan tillgängliggöra biomassa på längre avstånd och vid kustnära etablering i anslutning till lämplig hamn kan ibland biomassa transporteras från andra länder och regioner.

Vilka volymer primär biomassa som kan bli tillgängliga är helt beroende av de skogsskötselåtgärder som genomförs inom denna 10 mils radie. Vid slutavverknings finns möjlighet att ta tillvara grenar och toppar (grot). Volymen tillgänglig grot kan uppskattas med hjälp av prognoser för framtida slutavverknings. Andra volymer av primär biomassa kan vara betydande men är svåra att kvantifiera. Vid röjning av skog, väggkant eller kraftledningsgator kan klenstammar tas tillvara. Rundved med kvalitetsdefekter eller rundved från storm eller med insektsskador kan temporärt bli tillgängliga i stora volymer.

1.1.1.1 Avverkade volymer

Den senaste femårsperioden avverkades i snitt 11,5 miljoner m³sk i norra Norrland (Norr- och Västerbotten) och 16,4 miljoner m³sk södra Norrland (Västernorrland, Jämtland, och Gävleborg) totalt alltså 27,9 m³sk.²³ Av detta var 6,1 miljoner m³sk virke uttaget i gallring. Omräknat till m³fub (fast under bark) blir motsvarande siffror 22,7 m³fub respektive 5 miljoner m³fub.²⁴

²³ Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet Umeå. (2021). Skogsdata 2021. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2021_webb.pdf Läst: 2022-11-09

²⁴ Omräkningstal 0,815

Generellt sett går gallringsvirket till massaindustrin. Från slutavverkning går ofta rotstocken till sågverken och toppen till massaindustrin.

1.1.1.2 Skogsindustrins biprodukter

Biprodukterna kommer antingen från ett sågverk eller ett massa- eller pappersbruk och mängderna som faller ut är helt kopplade till volymerna som sågas eller kokas. Vid ett sågverk blir cirka 50 procent av stocken sågade trävaror, 15–20 procent blir sågspån, 10 procent bark, 25–30 procent träflis och dessutom faller det ut cirka 1 ton hyvelspån per 10 m³ sågad vara.²⁵ Med hjälp av dessa schablontal och statistik på sågad volym kan mängden sågverksbiprodukter uppskattas. Hur mycket biprodukter som används internt och hur mycket som finns tillgängligt på en marknad är svårare att uppskattas. De biprodukter som industrin inte använder själva används oftast för energigenerering i närmaste kraftvärmeverk eller för produktion av pellets.²⁶

1.1.1.3 Biomassa av rätt kvalitet

Beroende på ursprung och hur biomissan har lagrats och hanterats uppvisar olika biomassasortiment betydande kvalitetsvariationer. Kvalitén på biomissan varierar ofta mellan olika säsonger och ibland även mellan leveranser. Vad som är godtagbar kvalitet bestäms av slutförbrukarens krav och varierar mellan olika processer. Vanliga önskemål är låg fukthalt, hög energidensitet, jämn partikelstorlek, låg askhalt och låg halt av föroreningar. Sågspån har ofta en eftertraktad kvalitet med små kvalitetsvariationer medan grot har en komplex och varierande sammansättning. Med stöd av en god kvalitetskontroll genom hela leveranskedjan kan en högre kvalitet och därmed en högre driftsäkerhet och ekonomi i processen uppnås.

1.1.1.4 Regionala siffror på marknad för oraffinerade skogsindustriella biprodukter

I ett examensjobb från 2021 gjordes en kartläggning av marknaden av oraffinerade skogsindustriella biprodukter i norra Sverige.²⁷ Studien omfattar Norrbotten, Västerbotten, Västernorrland och Jämtland och visar att den totala produktionen av sågade varor 2019 var 4 737 000 m³ och att massa- och pappersindustrin under 2019 använde 16,75 miljoner m³fub.

Produktionen av biprodukter som en följd av sågverks och massaproduktionen var 1822,5 GWh sågspån, 1165 GWh bark, 357,9 GWh torrflis, 135,1 GWh hyvelspån och 4485,6 GWh cellulosafelis. Efterfrågan inom studieområdet var 3022,2 GWh sågspån och 1068,2 GWh bark från två industrisegment: värme och kraft samt pellets. I studien antogs att cellulosafilisen skickades direkt till massabruken och inte var tillgänglig för ovanstående industrisegment. Sammantaget visar studien att det fanns ett underskott av biprodukter i regionen på cirka 610,1 GWh.

Baserat på resultaten i examensarbetet har den totala mängden biprodukter från samtliga sågverk samt massabruk i de fyra nordligaste länen beräknats, se Tabell 4 och Tabell 5.²⁸

²⁵ Staffas, L., Hansen, K., Sidvall, A. & Munthe, J. (2015). Råvaruströmmar från skogen-tillgång och samband. (C 116). Stockholm: Svenska Miljöinstitutet

²⁶ Staffas, L., Hansen, K., Sidvall, A. & Munthe, J. (2015). Råvaruströmmar från skogen-tillgång och samband. (C 116). Stockholm: Svenska Miljöinstitutet

²⁷ Person, L. (2021). Mapping the market of unrefined forest industry by-products in northern Sweden – Industry by-product variation, county supply-demand balance, and optimization of transport cost. Master's thesis in Forest Science. 2021:10 Umeå.

²⁸ Person, L. (2021). Mapping the market of unrefined forest industry by-products in northern Sweden – Industry by-product variation, county supply-demand balance, and optimization of transport cost. Master's thesis in Forest Science. 2021:10 Umeå

Tabell 4: Samtliga sågverk i Norrbotten, Västerbotten, Västernorrland och Jämtland samt de biprodukter som faller ut vid sågningen. Omvandlingstal; Sågspån 0,381 MWh/m³ sågat, Bark 0,163 MWh/m³ sågat, Torrflis: 0,076 MWh/m³ sågat, Kutterspån: 0,029 MWh/m³ sågat.

| Tabell 4 | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------|--|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| Ägare | Ort | Produktion (1000m ³ sv/år) | Sågspån (råton) | Bark (råton) | C-flis (råton) | Torr flis (råton) | Kutterspån (råton) | Total mängd biprodukter (råton) |
| Jutos Timber | Korpilombolo | 60 | 9 939 | 4 890 | 25 827 | 1 060 | 414 | 16 304 |
| Krekula & Lauri | Tärendö | 52 | 8 614 | 4 238 | 22 384 | 919 | 359 | 14 130 |
| SCA Wood | Piteå, Munksund | 420 | 69 574 | 34 230 | 180 791 | 7 423 | 2 900 | 114 127 |
| Stenvalls trä | Piteå, Lövholmen | 140 | 23 191 | 11 410 | 60 264 | 2 474 | 967 | 38 042 |
| Stenvalls trä | Sikfors | 140 | 23 191 | 11 410 | 60 264 | 2 474 | 967 | 38 042 |
| Stenvalls trä | Seskarö | 60 | 9 939 | 4 890 | 25 827 | 1 060 | 414 | 16 304 |
| Stenvalls trä | Luleå, Örnarna | 60 | 9 939 | 4 890 | 25 827 | 1 060 | 414 | 16 304 |
| Glommers Timber | Glommerträsk | 50 | 8 283 | 4 075 | 21 523 | 884 | 345 | 13 587 |
| Älvsbyhus | Älvsbyn | 40 | 6 626 | 3 260 | 17 218 | 707 | 276 | 10 869 |
| Brattbysågverk | Brattby | 50 | 8 283 | 4 075 | 21 523 | 884 | 345 | 13 587 |
| SCA Wood | Rundvik | 315 | 52 180 | 25 673 | 135 593 | 5 567 | 2 175 | 85 595 |
| Setra Trävaror AB | Malå | 210 | 34 787 | 17 115 | 90 395 | 3 712 | 1 450 | 57 064 |
| NK Lundströms | Vännäs | 65 | 10 767 | 5 298 | 27 980 | 1 149 | 449 | 17 663 |
| Norra Skog | Sävar | 256 | 42 407 | 20 864 | 110 196 | 4 525 | 1 768 | 69 563 |
| Norra Skog | Kåge | 263 | 43 567 | 21 435 | 113 210 | 4 648 | 1 816 | 71 465 |
| Norra Skog | Agnäs | 18 | 2 982 | 1 467 | 7 748 | 318 | 124 | 4 891 |
| Martinsson/ Holmen | Bygdsiljum | 430 | 71 230 | 35 045 | 185 095 | 7 600 | 2 969 | 116 844 |
| Martinsson/ Holmen | Kroksjön, Skellefteå | 117 | 19 381 | 9 536 | 50 363 | 2 068 | 808 | 31 793 |
| Norra Skog | Hissmofors | 120 | 19 878 | 9 780 | 51 655 | 2 121 | 829 | 32 608 |
| SCA Wood/ Persson Invest | Gällö | 360 | 59 635 | 29 340 | 154 964 | 6 363 | 2 486 | 97 823 |
| Rödins Trä AB | Svenstavik | 78 | 12 921 | 6 357 | 33 575 | 1 379 | 539 | 21 195 |
| SCA Wood | Bollsta | 550 | 91 109 | 44 825 | 236 750 | 9 721 | 3 798 | 149 452 |
| SCA Wood | Tunadal | 550 | 91 109 | 44 825 | 236 750 | 9 721 | 3 798 | 149 452 |
| MST Sågverk Ullånger AB | Ullånger | 35 | 5 798 | 2 853 | 15 066 | 619 | 242 | 9 511 |
| Högländ | Örnsköldsvik | 50 | 8 283 | 4 075 | 21 523 | 884 | 345 | 13 587 |
| Högländ | Anudsjö, Bredbyn | 190 | 31 474 | 15 485 | 81 786 | 3 358 | 1 312 | 51 629 |
| Callans Trä AB | Fränsta | 85 | 14 080 | 6 928 | 36 589 | 1 502 | 587 | 23 097 |
| Edsele Såg AB | Edsele | 28 | 4 638 | 2 282 | 12 053 | 495 | 193 | 7 608 |
| | Totalt | 4 792 | 793 805 | 390 548 | 2 062 738 | 84 696 | 33 088 | 1 302 137 |

Tabell 5: Restprodukter 2019 från samtliga massa- och pappersbruk i Norrbotten, Västerbotten, Västernorrland och Jämtland. Omvandlingstal; Sågspån: 0,0007 MWh/m³fub, Bark: 0,0146 MWh/m³fub.

| År | Råvara in (1000 m ³ fub/år) | Sågspån (råton) | Bark (råton) | Total biomassa tillgänglig (råton) |
|---|---|--------------------|-----------------|--|
| Billerud Korsnäs, Kalix | 1 550 | 472 | 11 | 11 787 |
| Smurfit Kappa, Piteå | 2 200 | 670 | 16 060 | 16 730 |
| 2035 S | 1 100 | 335 | 8 030 | 8 365 |
| SCA Obbola | 1 100 | 335 | 8 030 | 8 365 |
| Metsä Board, Husum | 3 000 | 913 | 21 900 | 22 813 |
| SCA Östrand | 4 365 | 1 328 | 31 865 | 33 193 |
| SCA Ortviken | 950 | 289 | 6 935 | 7 224 |
| Mondi Dynäs, Kramfors | 1 200 | 365 | 8 760 | 9 125 |
| Domsjö Fabriker, Örnsköldsvik | 1 300 | 396 | 9 490 | 9 886 |
| Totalt | 16 765 | 5 102 | 122 385 | 127 487 |
| Omräknat till energi motsvarar sågverkens och brukens volymer: | | | | |
| | Ton | Ton MWh/ton | GWh | |
| Sågspån (sågverk) | 793 805 | 2,3 | 1826 | |
| Sågspån (bruk) | 5 102 | 2,3 | 12 | |
| Bark (sågverk) | 390 548 | 2 | 781 | |
| Bark (bruk) | 122 385 | 2 | 245 | |
| C-flis | 2 062 738 | 2,2 | 4 538 | |
| Torr flis | 84 696 | 4,3 | 364 | |
| Kutterspån | 33 088 | 4,2 | 139 | |
| Totalt: | 3 492 362 | | 7 905 | |

Den totala mängden biprodukter från sågverk och massabruk ligger alltså på cirka 7,9 TWh. Enligt uppgift från Norra Skog så säljs cirka 3,5 TWh av detta till ett 70-tal aktörer som värmeverk och pelletsfabriker i form av sågspån, bark och flis.

1.1.2 Möjliga synergier med etablerade värdekedjor och industrier

1.1.2.1 Råvaror

Kostnaden för biomassan står ofta för en stor del av den totala kostnaden när kalkyler görs på en anläggning som ska producera färdig SAF eller ett intermediat, det vill säga en förnybar komponent som ska låginblandas, i SAF. Minimibehovet av skoglig biomassa för en produktionsanläggning av SAF har vid genomförda intervjuer uppgivits vara cirka 0,5 miljoner ton torr biomassa per år, vilket motsvarar råvarubehovet vid ett medelstort svenskt massabruk.

I intervjuerna som genomförts har två strategier för att hantera detta framkommit. Den ena strategin går ut på att planera produktionen av SAF/intermediat integrerat där råvaran faller ut. Det vill säga i närheten av sågverket för spån och bark eller massabruket för svartlut och lignin. Exempel på detta är förstudien som genomförts av TreePower med Luleå Business Region som projektägare, SCA och St1s samarbete gällande ett bioraffinaderi invid Östrands massabruk, Setras och Preems satsning med produktion av pyrolysolja vid Setras sågverk i Kastet. För mer information om dessa initiativ se avsnitt 1.2 Aktörs- och affärsmodellanalys.

Den andra strategin innebär att producenten av SAF söker långsiktiga avtal på billig råvara och placerar anläggningen där de finner råvaran. Ett exempel på det som har nämnts vid genomförda intervjuer är ett projekt i Kanada, som genomförs i samarbete mellan BioÉnergie La Tuque-BELT, Neste, och Atikamekw Nations råd. Projektet ska utveckla och demonstrera potentialen i att producera avancerade biobränslen från grot som i dagsläget inte används.

För elektrobränslen är det både tillgången på kolet och den förnybara elen som styr val av plats för produktionsanläggningen. Exempel på samarbeten gällande detta är Vattenfall, Lanza Tech och Shell som undersöker förutsättningarna för en alcohol-to-jet-anläggning i närheten av Forsmark. I Sollefteå har Sasol ecoFT, Uniper och Sollefteå kommun ett projekt, SkyFuel H2, där planen är en anläggning för elektrobränslen via en FT-förgasningsprocess (Fischer-Tropsch). Placeringen i Sollefteå beror till stor del på det överskott på förnybar el som finns i kommunen. Kolet är tänkt att komma från skoglig biomassa, via långsiktiga avtal. För mer information om dessa initiativ se avsnitt 1.2 Aktörs- och affärsmodellanalys.

I Östersund pågår projektet "Hållbara elintensiva industrier" som går ut på att skapa bästa möjliga förutsättningar för långsiktiga och hållbara etableringar som skapar arbetstillfällen i regionen. De unika resurser området har är 500 MW el som Jämtkraft skrivit avtal med Svenska kraftnät om, kunskap om kritiska förutsättningar för olika typer av etableringar, samt detaljplanerad mark.

1.1.2.2 Integrering med befintliga industrier

Hantering av biomassa sker idag vid sågverk, massa- och pappersbruk samt värmeverk och på vissa terminaler. Infrastruktur, personal, lokaler och kompetens runt detta är sannolikt viktigt att beakta vid en nyetablering av produktion av SAF. Andra viktiga flöden att hitta synergier med är hög- och lågvärdig värme, vatten, el, ånga samt befintliga miljökonsekvensbeskrivningar och detaljplanerad mark. I norra Sverige är det flesta skogsindustrier och kraftvärmeverk lokaliserade i kluster vid älvmyningar längs norrlandskusten. Synergier går att finna i anslutning till dessa industrikluster samtidigt som konkurrensen om biomassan är som hårdast där. I inlandet finns få stora skogsindustrier och få stora värmeverk och en inlands etablering kan därför ge fördelar då konkurrensen om den tillgängliga biomassan ofta är svagare. En etablering i inlandet kan tillgodogöra sig biomassa i en hel cirkel medan en kustetablering begränsas till en halv cirkel. God tillgång på förnybar el till ett fördelaktigt pris går att hitta på flera platser i inlandet.

1.1.2.3 Infrastruktur

Produktion av färdigt SAF eller ett intermediat, det vill säga en mellanprodukt, har olika behov av infrastruktur. För ett intermediat, som exempelvis framställs från pyrolysolja, är det logiskt att placera produktionen av oljan nära råvaran och sedan transportera den till ett raffinaderi som gör den färdiga produkten. Om någon aktör i stället skulle börja producera ett färdigt SAF med skoglig biomassa som råvara blir tillgång till djuphamn på produktionsplatsen eller järnväg till djuphamn viktigt.

1.1.2.4 Kompetens och kunskap

Kompetens runt produktion och skötsel av skoglig biomassa är stark i hela Sverige. I den studerade regionen finns även stor industriell och entreprenöriell kompetens på såväl sågverk som i massa- och pappersbruk, hos värmeverk och skogstekniska företag och kluster. Regionen har även forskningsinstitut och universitet med hög kompetens inom skog, bioraffinaderi, industriteknik och biokemi. Behovet av kompetent arbetskraft är mycket stort hos alla de aktörer som nu bygger fossilfria lösningar för framtiden. Detta gäller förutom planer på bioraffinaderier, biodrivmedel och SAF exempelvis batteritillverkning, fossilfritt stål och konstgödsel. Konkurrensen om personal är redan stor och tillgången på kompetens en nyckelfråga för att lyckas med kommande satsningar.

1.1.3 Förändringar av råvaruflöden vid etablering av produktionsanläggningar för SAF

1.1.3.1 Marknaden för skoglig biomassa i norra Sverige - nuläge och framtid

Konjunkturen i skogsindustrin i norra Sverige är stark och stora investeringar har genomförts det senaste decenniet. Ökad global efterfrågan på förpackningsmaterial har följts av stora investeringar i produktionshöjande åtgärder i pappers- och massaindustrin. Efterfrågan på sågade trävaror har också varit stark och sågverken har investerat och ökat sin produktion. Med dagens lagstiftning, hyggesmetoder och nivå på avsättningar är tillgänglig volym av stamved i norra Sverige cirka 21,5 miljoner m³fub (fast kubikmeter under bark) årlig. All tillgänglig stamved är ute på marknaden. Planerade investeringar i skogsindustrin ökar efterfrågan med ytterligare 3 miljoner m³fub. Det är osäkert om den ökande efterfrågan i framtiden kan mötas av ökande avverkningar. Det är i stället troligt att avverkningar kommer att minska som en följd av den föreslagna europeiska klimatpolitiken som redovisas i färdplanen. Sammantaget kommer tillgänglig volym av skogsråvara framgent snarare att minska än att öka.

Som ett resultat av den starka konjunkturen i skogsindustrin har tillgången på biprodukter i regionen varit god och priserna förhållandevis låga (<200 kr MWh). Med detta pris har uttag av grot inte varit lönsamt. I norra Sverige används idag ca 3,5 TWh trädbränslen av ett 70-tal energiaktörer som värmeverk och pelletsfabriker i form av sågspån, bark och flis.

Kriget i Ukraina som inleddes i februari 2022 har dramatiskt ökat efterfrågan och priserna på trädbränslen över hela EU, så även i norra Sverige. Hur marknaden framgent kommer att påverkas av kriget är svårt att förutspå. Som en följd av EU:s klimatpolitik pågår i norra Sverige ett 10-tal förstudier

för investeringar i produktion av biokol för stålindustrin samt biodrivmedel för flyg, väg och sjötrafik. Dessutom planeras för utbyggnad av fjärrvärme. Enligt Norra Skog gör dessa planer tillsammans anspråk på cirka 8 TWh trädbränslen. Norra Skog bedömer att det inte finns tillgänglig volym till alla dessa planer och att betalningsförmågan för olika aktörer kommer att avgöra var gränssnitten mellan biomassa för energi, massa och sågverk kommer att ligga.

1.1.3.2 Möjliga effekter av ökad efterfrågan

I en studie undersöktes hur effekterna av ökande efterfrågan på biprodukter skulle påverkas vid produktion av avancerade biobränslen i Sverige. Vid en produktion på 5–30 TWh av biodrivmedel visade simuleringarna att alla priser på biprodukter ökade, samt att även en liten ökning av efterfrågan påverkade priset på marknaden.²⁹ Dessutom ökade avverkningen av rundvirke som en följd av ökad efterfrågan. Råvara till värme- och kraftverk förändrades, när sågspån gick till biodrivmedelsproduktion ökade användningen av grot i kraftvärmeverken. Alla de studerade scenarierna antydde att värme- och kraftverksindustrin skulle påverkas mest av ökad konkurrens. Studien visade också att högre pris på biprodukter kan göra det lönsamt för skogsindustrier att investera i ökad energieffektivitet vilket kan frigöra större volymer biprodukter till marknaden.

Effekten av en ny industri som efterfrågar stora volymer biomassa kommer främst att påverka den lokala marknaden runt den specifika etableringen. Det är troligt att priset ökar då konkurrensen hårdnar och de med högst betalningsförmåga kan tillgodogöra sig de biomassa kvaliteter som mest efterfrågas. Det är också troligt att priset på olika kvaliteter kommer att differentieras så att priset på den biomassa som är mest lämplig för produktion av till exempel SAF får ett pris som är länkat till priset på färdig förädlad SAF. Priset på SAF kommer i sin tur i hög grad styras av de politiska styrmedel som är på plats inom EU. Kraftvärmeverk har troligen lägre betalningsförmåga och tekniken på plats för förbränning av biomassa är robust och flexibel och kan därför inrikta sig på kvaliteter som är svåra för andra att hantera.

1.1.3.3 Kaskadprincipen

Kaskadprincipen föreskriver en bestämd prioritetsordning för användning av skoglig råvara och innebär att biomassa först ska användas för varaktiga produkter såsom sågade träprodukter, sen för återanvändning eller återvinning och sist för energiproduktion. Kaskadprincipen lyfts fram inom EU som ett klimatsmart sätt att utnyttja biomassaresurser och det skissas på bindande regler för detta. Att producera biodrivmedel eller att elda skoglig biomassa som inte tidigare använts föreslås från EU inte vara förenligt med denna princip. Kommande regleringar enligt kaskadprincipen kan därför väsentligen öka risken för investeringar i produktion av SAF.

I Sverige har resurseffektiv användning av trädets olika delar utvecklats tack vare starka synergier mellan olika slutförbrukare under lång tid. Råvaruflödena varierar över tid och på olika regionala marknader. Många biomassasortiment kan inte med rimlig ekonomi transporteras över långa avstånd och köps därför av de närmaste industrierna med störst köpkraft. Sågspån från sågverk kan inte transporteras till en spånskiveindustri långt

²⁹ Bryngemark, E. (2019). Second generation biofuels and the competition for forest raw materials: A partial equilibrium analysis of Sweden. *Forest Policy and Economics*, 109, 102022. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102022>

samtliga bioenergisortiment samt att man ser ett långsiktigt underskott av dessa sortiment i regionen. Vid de intervjuer som genomförts har det framkommit att ett pris på grot på cirka 300 kronor per MW-timme skulle behövas för att grot-avverkningen skulle återupptas.

För att få entreprenörer att våga satsa på att köpa in maskiner för grot-avverkningar, är förutom priset på grot, långsiktighet i avtal och möjligheter att få leverera under hela året viktiga parametrar. Många menar att avtalen behöver vara på runt 5 år och volymen som de årligen behöver hantera ligger på mellan 20 000–40 000 råton eller 50–100 GWh.

Under 2020/2021 fanns en låg efterfrågan på grot och tillgången på skogsindustriella biprodukter var god i norra Sverige. Under denna period beslutade exempelvis SCA att sluta grot-avverka i Sundsvalls/Östersunds-trakten. Under 2022 har kriget i Ukraina påverkat behovet och flödena av bioenergisortiment vilket lett till att grot-avverkningar har återupptagits i delar av södra Norrland (Jämtland, Härjedalen, Ångermanland). Köpare är främst användare i Mälardalen. I norra Norrland (Norr- och Västerbotten) finns fortfarande väldigt få aktörer som grot-avverkar.

1.1.4 Tillgång och kostnad för skoglig biomassa för produktion av SAF i norra Sverige

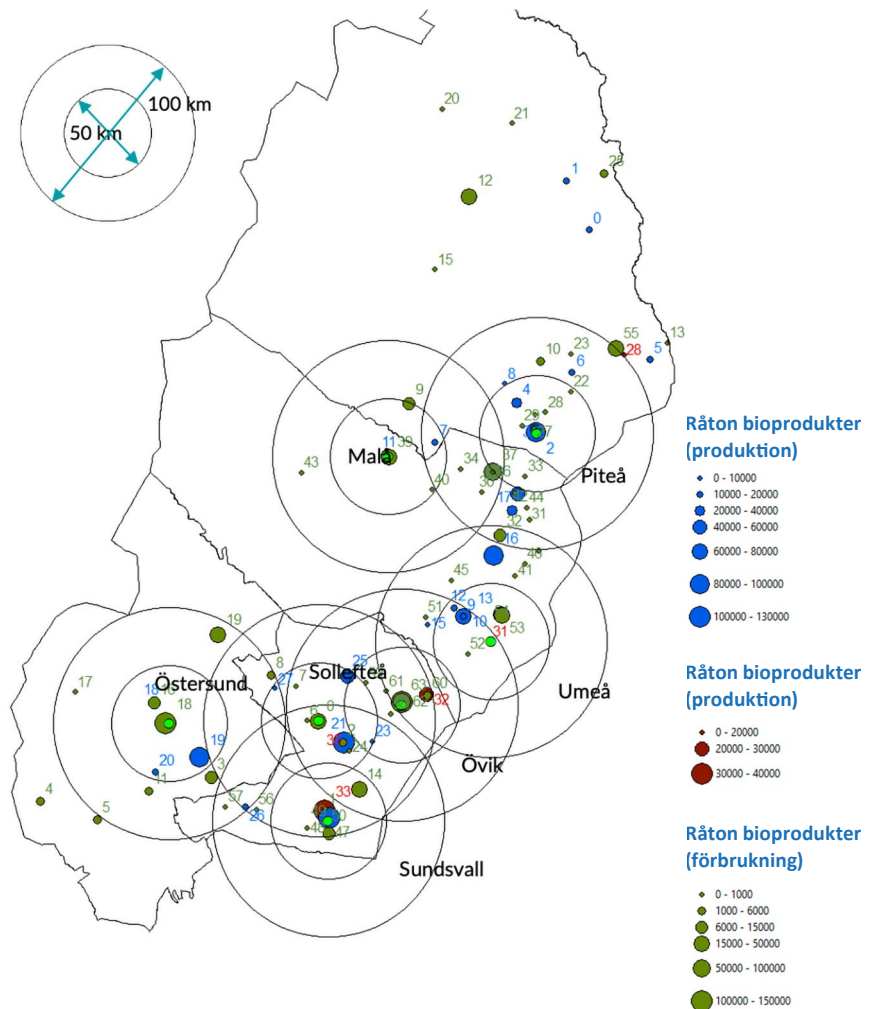
Etablering av produktionsanläggningar av SAF kommer att kräva tillförsel av stora mängder biomassa till ett rimligt pris och till acceptabel kvalitet under lång tid. Kännedom om tillgången på biomassa i närområdet är därför essentiell om en investering ska kunna genomföras. Med stöd av en intressentdialog har 7 orter i norra Sverige (Sundsvall, Sollefteå, Östersund, Örnsköldsvik, Umeå, Malå och Piteå) valts ut för att analysera tillgång och prisbild för biomassatillförsel med hjälp av marginalkostnadskurvor (se Figur 5). På denna karta finns sågverk, massaindustri, värmeverk samt kraftvärmeverk i norra Sverige inlagda. Eftersom oförädlad biomassa inte kan transporteras över långa avstånd med en rimlig ekonomi, har tillgången beräknats inom en 10 mils radie runt dessa orter. Kostanden för köp av biprodukter från skogsindustrin har baserats på historiska priser uppräknad med 50 procent eftersom ökad efterfrågan antas driva upp priserna. Ingen kostnad för vinst eller administration finns inräknad. Kostnader för transporter har beräknats med hjälp av erfarenhetstal från näringen. När avståndet ökar, så ökar kostanden för transporter. I marginalkostnadskurvorna går det att utläsa till vilken kostnad en viss mängd biomassa kan anskaffas. Med de antagande som gjorts ger marginalkostnaderna en indikation på prisnivåer, men det slutgiltiga priset kommer att avgöras i förhandling mellan köpare och säljare. De sortiment som analyserats är de biprodukter som faller ut vid sågverk i form av spån, bark, torrflis och kutterspån samt bark från massaindustrin. Råflis (cellulosaflis) antas inte vara tillgängligt eftersom detta är en attraktiv biprodukt för massaindustrin. Då en del av dessa biprodukter används internt samt att värmeverk och pellets industri idag använder en del dessa sortiment har en tillgänglighet på 50 procent antagits. Skogsindustrin i norra Sverige domineras av ett fåtal stora aktörer som konkurrerar om olika biomassa sortiment. Dessa aktörers interna affärsintresse kan komma att få stor påverkan på hur stor del av deras biprodukter som faktiskt blir tillgängligt speciellt om nya aktörer kommer in på marknaden.

Som ett resultat av slutavverkningar som genomförs i grandominerade be-

Figur 5: Kraftvärmeverk, värmeverk, sågverk och massaindustri i norra Sverige samt försörjningsområden för tänkta produktionsanläggningar av SAF.

Värmeverk

| Företag | Ort |
|---------|--|
| 0 | Adven Energilösningar AB Sollefteå |
| 1 | Adven Energilösningar AB Timrå |
| 2 | Adven Värme AB. Bollstabruk |
| 3 | Adven Värme AB. Bräcke, Enycon |
| 4 | Adven Värme AB. Funåsdalen |
| 5 | Adven Värme AB. Hede |
| 6 | Adven Värme AB. Långsele |
| 7 | Adven Värme AB. Näsåker |
| 8 | Adven Värme AB. Ramsle |
| 9 | Arvidsjaur Energi AB Arvidsjaur |
| 10 | Bodens Energi AB Boden |
| 11 | BTEA Energi AB Berg |
| 12 | Gällivare Energi AB Gällivare-Malmberget |
| 13 | Haparanda Värmeverk AB Haparanda Residual |
| 14 | Härnösand Energi & Miljö AB Härnösand |
| 15 | Jokkmokks Värmeverk AB Jokkmokk |
| 16 | Jämtkraft AB Krokrom |
| 17 | Jämtkraft AB Åre |
| 18 | Jämtkraft AB Åstersund |
| 19 | Jämtkraft Värme AB Strömsund |
| 20 | Kiruna Kraft AB Kiruna C |
| 21 | Kiruna Kraft AB Vittangi |
| 22 | Luleå Energi AB Luleå |
| 23 | Luleå Energi AB Råneå |
| 24 | Nevel AB Kramfors |
| 25 | Pajala Värmeverk AB Pajala |
| 26 | PiteEnergi AB Norrfjärden |
| 27 | PiteEnergi AB Piteå |
| 28 | PiteEnergi AB Rosvik |
| 29 | PiteEnergi AB Sjulnäs |
| 30 | Skellefteå Kraft AB Boliden |
| 31 | Skellefteå Kraft AB Bureå |
| 32 | Skellefteå Kraft AB Burträsk |
| 33 | Skellefteå Kraft AB Byske |
| 34 | Skellefteå Kraft AB Jörn |
| 35 | Skellefteå Kraft AB Kåge |
| 36 | Skellefteå Kraft AB Lidbacken |
| 37 | Skellefteå Kraft AB Lycksele |
| 38 | Skellefteå Kraft AB Lövånger |
| 39 | Skellefteå Kraft AB Malå |
| 40 | Skellefteå Kraft AB Norsjö |
| 41 | Skellefteå Kraft AB Robertsfors |
| 42 | Skellefteå Kraft AB Skellefteå |
| 43 | Skellefteå Kraft AB Storuman |
| 44 | Skellefteå Kraft AB Ursviken-Skelleftehamn |
| 45 | Skellefteå Kraft AB Vindelö |
| 46 | Skellefteå Kraft AB Änåset |
| 47 | Sundsvall Energi AB Kvissleby |
| 48 | Sundsvall Energi AB Matfors |
| 49 | Sundsvall Energi AB Sundsvall |
| 50 | Sundsvall Energi AB Tunadal |
| 51 | Umeå Energi AB Bjurholm |
| 52 | Umeå Energi AB Hörnefors |
| 53 | Umeå Energi AB Sävar |
| 54 | Umeå Energi AB Umeå |
| 55 | Vasa Värme Holding AB Kalix |
| 56 | Ånge Energi AB Frånsta |
| 57 | Ånge Energi AB Ånge |
| 58 | Övik Energi AB Bjåsta |
| 59 | Övik Energi AB Bredbyn |
| 60 | Övik Energi AB Husum |
| 61 | Övik Energi AB Moliden |
| 62 | Övik Energi AB Processånga |
| 63 | Övik Energi AB Örnsköldsvik |



Sågverk

| Företag | Ort |
|---------|--|
| 0 | Jutos Timber Korpilombolo |
| 1 | Krekula & Lauri Tarendö |
| 2 | SCA Wood Piteå, Munksund |
| 3 | Stenvalls trä Piteå, Lövholmen |
| 4 | Stenvalls trä Sikfors |
| 5 | Stenvalls trä Seskarö |
| 6 | Stenvalls trä Luleå, Öarna |
| 7 | Glommers Timber Glommersträsk |
| 8 | Älvsbyhus Älvsbyn |
| 9 | Brattbysågverk Brattby |
| 10 | SCA Wood Rundvik |
| 11 | Setra Trävaror AB Malå |
| 12 | NK Lundströms Vännäs |
| 13 | Norra Skog Sävar |
| 14 | Norra Skog Kåge |
| 15 | Norra Skog Agnäs |
| 16 | Martinsson/Holmen Bygdsiljum |
| 17 | Martinsson/Holmen Kroksjön, Skellefteå |
| 18 | Norra Skog Hissmofors |
| 19 | SCA Wood/Person Invest Gällö |
| 20 | Rödins Trä AB Svenstavik |
| 21 | SCA Wood Bollsta |
| 22 | SCA Wood Tunadal |
| 23 | MST Sågverk Ullånger AB Ullånger |

| | |
|----|--------------------------|
| 24 | Högländ Örnsköldsvik |
| 25 | Högländ Anudsjö, Bredbyn |
| 26 | Callans Trä AB Frånsta |
| 27 | Edsele Såg AB Edsele |
| 28 | Billrud Korsnäs |
| 29 | Smurfit Kappa |
| 30 | SCA Munksund |
| 31 | SCA Obbola |
| 32 | Metsä Board |
| 33 | SCA Östrand |
| 34 | SCA Ortvik |
| 35 | Mondi Dynäs |
| 36 | Domsjö Fabriker |

Massindustrier

| Företag | |
|---------|-----------------|
| 28 | Billrud Korsnäs |
| 29 | Smurfit Kappa |
| 30 | SCA Munksund |
| 31 | SCA Obbola |
| 32 | Metsä Board |
| 33 | SCA Östrand |
| 34 | SCA Ortvik |
| 35 | Mondi Dynäs |
| 36 | Domsjö Fabriker |

stånd finns möjlighet att tillvarata grot. God tillgänglighet av biprodukter från skogsindustrin med ett relativt lågt pris har gjort det olönsamt att ta tillvara grot i norra Sverige sen 2015. Nya etableringar som efterfrågar biomassa antas driva upp priset till en nivå som gör uttag lönsamt i framtiden. De skattningar som tidigare gjorts har visat tillgänglighet av grot i en större geografi exempelvis länsvis. Det har då inte varit möjligt att med acceptabel precision skatta tillgänglighet i en mindre geografi som i detta fall 10 mils radie runt en tänkt etablering. Med hjälp av att kombinera flera databaser har därför en ny metod arbetats fram för att skatta tillgänglig mängd grot. Metoden har arbetats fram i en dialog med kraftvärmeverk med lång erfarenhet av hantering av grot i regionen. Kostnaden för grot uttag inkluderar grot skotning, flisning vid väggkant samt vägtransport till industri. Kostanden baseras på erfarenhetstal från praktiken. Dock ingår ingen administrativ kostnad eller vinst till säljaren.

För att skatta mängden tillgänglig grot eftersöktes grandominerade bestånd (utanför våtmarker) med en stamvolym på minst 250m³sk/ha (207,5 m³fub/ha) i National Land Cover Database som är en marktäckeskarta över hela området. Det antas att 20 procent ytterligare biomassa (i form av grot) kan skördas. Till exempel, i ett bestånd med 207,5 m³fub/ha kan ytterligare 41,5 råton/ha i form av grot tillvaratas. Det antas att 10 procent av dessa bestånd avverkas årligen. Skattningen gäller således för en period på 10 år framåt. I Figur 6–Figur 12 är det viktigt att komma ihåg att kostnaden för biprodukter respektive grot inte kan läsas ut. Det är enbart den aggregerade kostnaden som kan utläsas.

1.1.4.1 Marginalkostnadskurvor

Från marginalkostnadskurvor nedan kan utläsas att kostnaden för årlig tillförsel av 100 000 ton TS (torrsubstans) biomassa är lägst i Piteå, 35 miljoner kronor (Figur 12) följt av Umeå, 42 miljoner kr (Figur 10), medan Örnsköldsvik (Figur 9), Sollefteå (Figur 8) och Sundsvall (Figur 7) har en liknande kostnad på runt 55 miljoner kronor. Då inga massabruk och endast få sågverk finns i inlandet är kostnaden där som högst. I Östersund (Figur 6) stiger kostnaden till ca 71 miljoner kronor medan det i Malå (Figur 11) endast finns knappt 30 000 ton TS tillgängligt inom 10 mils radie. Tillgängligheten av skogsindustrins biprodukter har antagits till 50 procent på samtliga orter men det är troligt att tillgängligheten är högre i inlandet då konkurrensen där är lägre. Det gäller särskilt Malå då inga stora värmeverk finns i närheten. I stora städer med stora kraftvärmeverk kan tillgängligheten vara lägre än 50 procent. Marginalkostnadskurvor tar inte hänsyn till vilken konkurrenssituation som råder men det kan få stor betydelse på tillgången och på priset på biomassa.

I marginalkostnadskurvorna finns främst sågspån, bark och grot inlagda. Sågspån har en väl definierad kvalitet och är troligen den mest attraktiva råvaran för produktion av SAF. Grot och även till viss del bark har en komplex och besvärlig sammansättning som kan vara svår att hantera för vissa processer. Om en eller flera biomassa sortiment inte kan användas av en process kommer marginalkostnadskurvan att bli betydligt brantare.

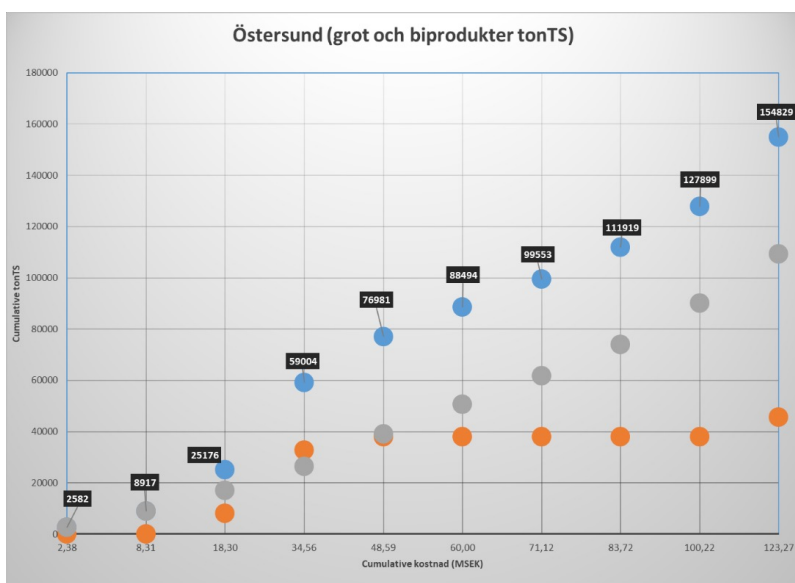
1.1.4.2 Konkurrensen påverkar priset

Skogsindustrier i norra Sverige är ofta lokaliserade i kluster vid älvmyningar

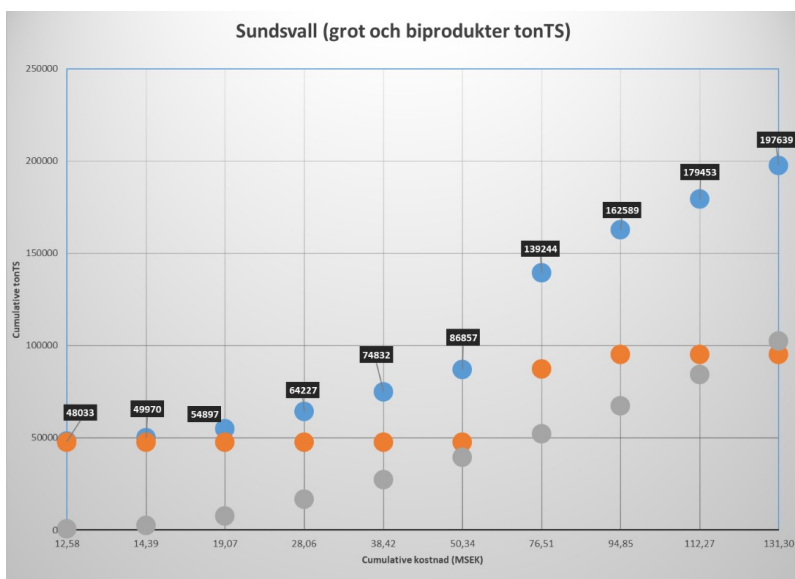
dar också de stora städerna är lokaliserade med stora förbrukare av biomassa i form av kraftvärmeverk. Således är både tillgången och efterfrågan ofta stor på samma platser. Om flera stora förbrukare av biomassa finns i närområdet kan efterfrågan överstiga tillgången och priset trissas upp och sådana ställen bör vara ofördelaktiga lokaliseringar. Stora sågverk i inlandet med få köpare av biomassa i närområdet kan vara gynnsamma då transporter till stora kraftvärmeverk är långa och dyra.

Om flera olika kategorier av slutförbrukare konkurrerar om samma biomassa bör de slutanvändare som kan skapa det största förädlingsvärdet kunna erbjuda det högsta priset. Betalningsförmågan borde i framtiden vara länkat till priset på den färdiga produkten. Priset på den färdiga produkten kan i sin tur bestämmas av de styrmedel som är på plats för att uppnå målen som är uppställda inom EU:s gemensamma klimatpolitik.

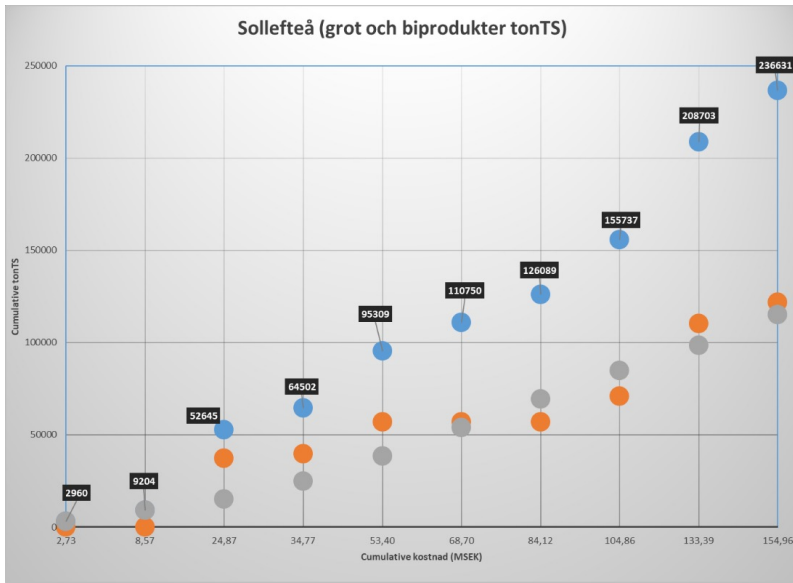
Figur 6: Marginalkostnad för grot och biprodukter i Östersund (grot grått, biprodukter orange, aggregerat blått).



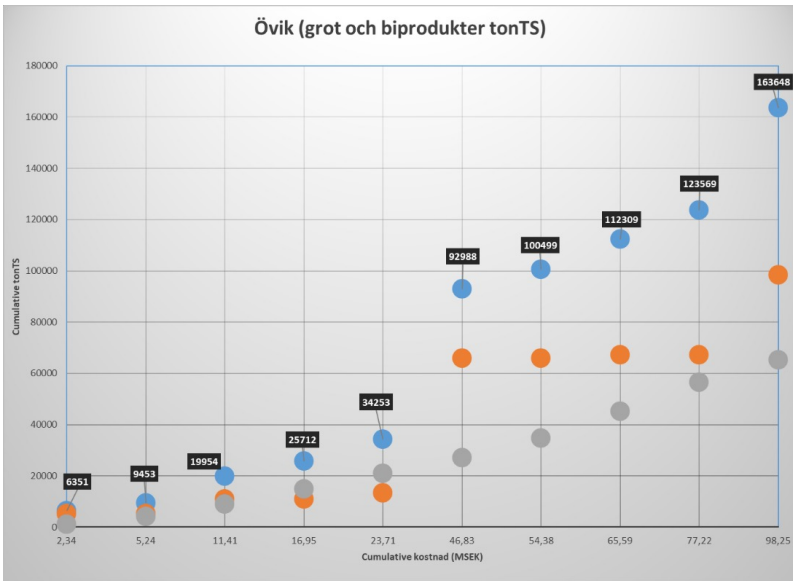
Figur 7: Marginalkostnad för grot och biprodukter i Sundsvall (grot grått, biprodukter orange, aggregerat blått).



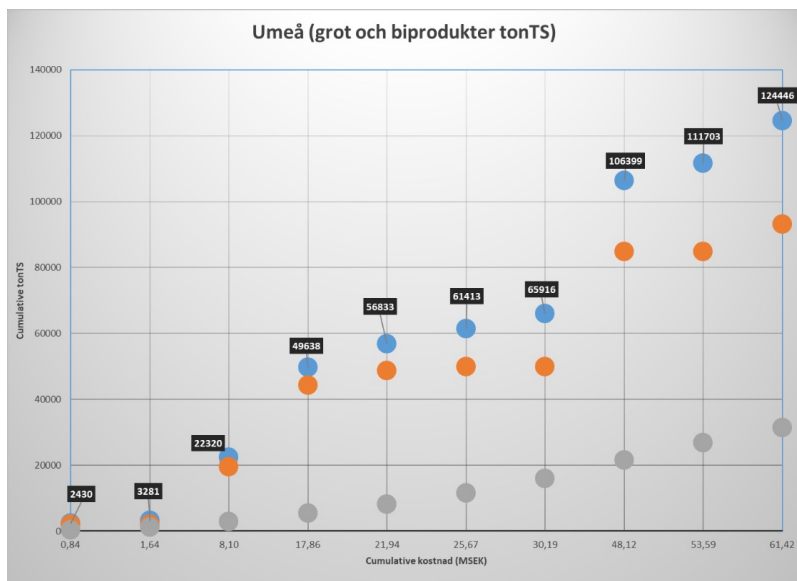
Figur 8: Marginalkostnad för grot och biprodukter i Sollefteå (grot grått, biprodukter orange, aggregerat blått).



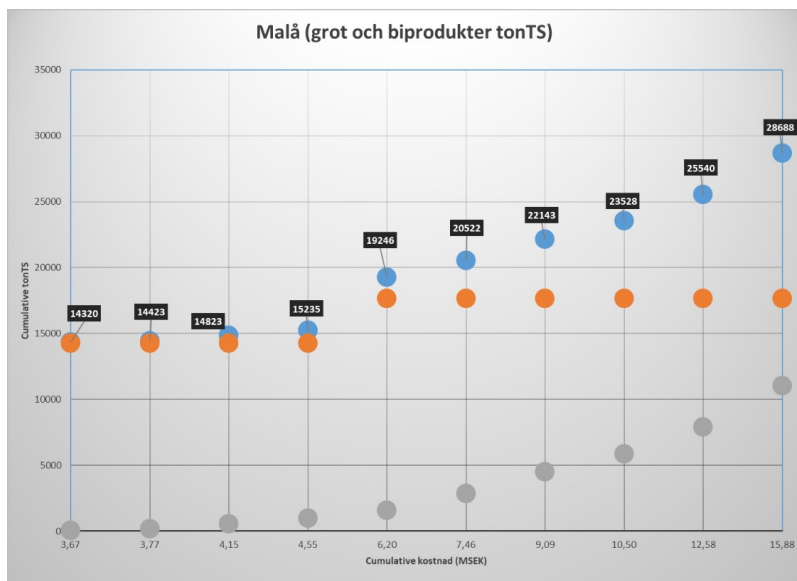
Figur 9: Marginalkostnad för grot och biprodukter i Örnsköldsvik (grot grått, biprodukter orange, aggregerat blått).



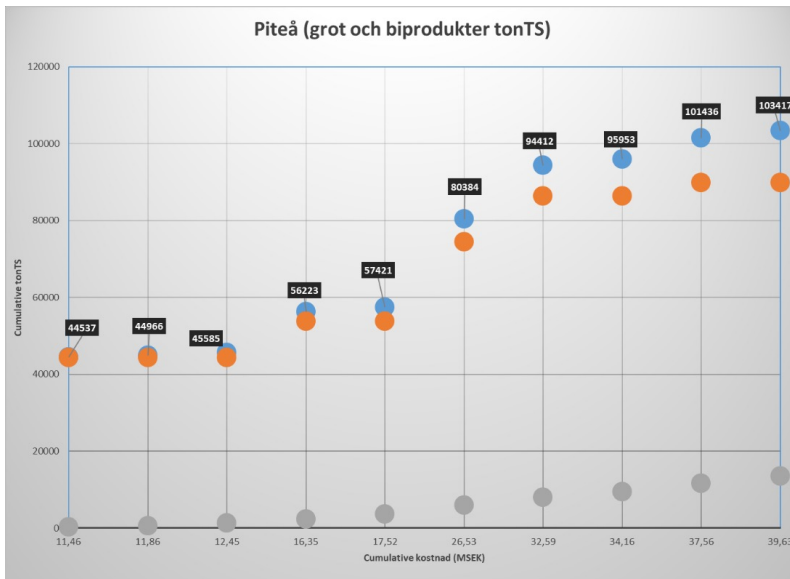
Figur 10: Marginalkostnad för grot och biprodukter i Umeå (grot grått, biprodukter orange, aggregerat blått).



Figur 11: Marginalkostnad för grot och biprodukter i Malå (grot grått, biprodukter orange, aggregerat blått).



Figur 12: Marginalkostnad för grot och biprodukter i Piteå (grot grått, biprodukter orange, aggregat blått).

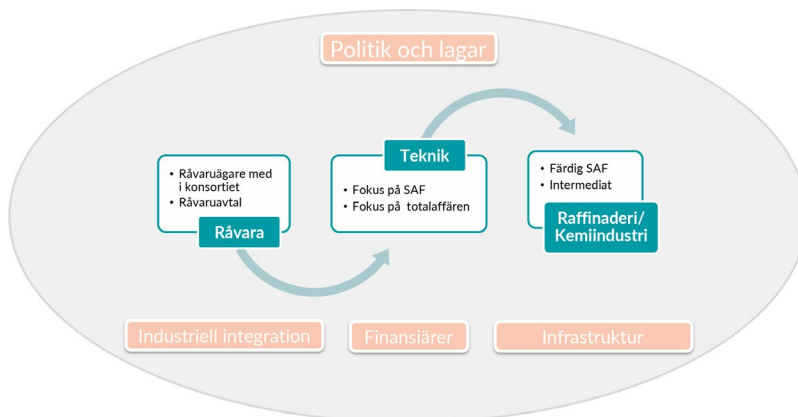


1.2 Aktörs- och affärsmodellanalys

1.2.1 Kartläggning av aktörer

De pusselbitar som behövs för en storskalig produktion av SAF är råvara, teknik att omvandla biomassan till önskade molekyler samt raffinaderikunskap för att möta de standarder och certifieringar som gäller. Förutom detta krävs en tydlighet i politisk inriktning och policy, finansiärer, infrastruktur och platser med bra industriella integrationsmöjligheter (Figur 13).

Figur 13: Beskrivning av de pusselbitar som behövs för storskalig produktion av SAF.



I intervjuerna har det framkommit två typer av affärsmodeller. Antingen är det ett konsortium av raffinaderi och skogsbolag/råvaruägare eller så är det ett raffinaderi som vill skriva långsiktiga avtal på råvara utan att ha med råvaruägaren i konsortiet. En annan slags uppställning är i Sollefteå där planen är att producera elektrobränsle. Konsortiet består där av teknikleverantörer och kommunen. Råvaran ska säkras genom långsiktiga avtal.

De aktörer som är aktiva inom regionen är:

| Typ av aktör | Bolag/aktörer | Aktiviteter |
|----------------------|---|--|
| Skogsindustri | SCA Norra Skog | Samarbete mellan SCA och St1. Är tillfrågade som råvaruleverantör i olika projekt. |
| Grön kemisk industri | Sekab | Utvecklar och säljer teknik för förädling av biomassa till kemikalier och biodrivmedel. |
| Kommuner | Östersund Sollefteå | Har 500 MW förnybar el. Söker partners för att utveckla kommunen. Samarbetar med Uniper och Sasol ecoFT för produktion av elektrobränsle. |
| Regioner | Norrbottnen genom Luleå Business region & TreePower | En förkonceptuell studie för produktion av en förnybar komponent till SAF. |

Idag finns ingen tillverkning av bioflygbränsle i Sverige, inte ens på demo-skala. Däremot pågår flera olika initiativ för en kommande tillverkning, se nedan.

SCA och St1 offentliggjorde 20 september 2021 att de bildat bolag med hälftenägande (joint venture) för tillverkning i Göteborg av 200 000 ton biodrivmedel (HVO och HEFA), varav cirka 50 000 ton bioflygbränsle (HEFA) med start Q3 2023. I samma pressmeddelande nämndes även att St1 blir 50-procentig delägare i SCA Östrand Biorefinery. Raffinaderiprojektet i Östrand har fått miljötillstånd för produktion av 300 000 ton biodrivmedel i två produktionslinjer, en baserad på svartlut, en annan biprodukt från produktionen av kemisk massa, och en baserad på fast biomassa, som sågspån och bark. Placeringen vid Östrands massabruk beror bland annat på att den utbyggda massafabriken ger möjlighet att utnyttja energi och biflöden från massatillverkningen, samtidigt som SCA kan utnyttja biprodukter från andra tillverkningsprocesser och skogsbruk. Produktion av förnybara drivmedel skulle öka förädlingsvärdet på all skog och menas kunna gynna hela regionen. Eftersom de i detta projekt undersöker tekniker som inte i dagsläget är kommersiella så går det inte att säga när ett eventuellt investeringsbeslut kan bli aktuellt. ”Bioraffinaderiet i Östrand är ett utvecklingsprojekt där det fortfarande finns tekniska utmaningar som måste lösas innan projektdesignen kan slutföras”.³⁰

Preem har ett samarbete med RenFuel för framtida tillverkning av biodrivmedel och bioflygbränsle från ligninolja, via deras samägda bolag Lignolproduktion AB. Processen går ut på att utvinna lignin från svartlut, en biprodukt som bildas vid tillverkning av pappersmassa. Ligninet som utvinns bildar en fast massa och genom en katalytisk process förädlas den fasta massan till ligninolja, som i sin tur kan raffineras till biodiesel och biobensin. Kapaciteten för deras först ligninoljeanläggning vid Rottneros massabruk i Vallvik förväntas vara 25 000–30 000 ton ligninolja per år. Visionen är att komma upp till en årlig produktionskapacitet på 300 000–500 000 ton genom att starta fler ligninanläggningar.^{31,32}

³⁰ SCA & St1. (2021). Pressmeddelande, 20 september. Läst: 2022-10-13 <https://www.sca.com/sv/om-oss/Investorare/pressmeddelanden/2021-09/sca-och-st1-star-tar-samagt-bolag-for-att-producera-och-utveckla-biodrivmedel/>. Läst: 2022-10-18

³¹ Preem. (2018). Svenska råvaror: lignin. <https://www.preem.se/om-preem/insikt-kunskap/2018/svenska-ravaror-lignin/>. Läst: 2022-10-18

³² Renfuel. (2018). Pressmeddelande, 24 maj. <https://renfuel.se/preem-och-renfuel-skapar-varldens-forsta-ligninanlaggning-for-biodrivmedel/>. Läst: 2022-10-18

Preem har även liknande samarbete med Setra kring bioolja från sågspån genom det gemensamma bolaget Pyrocell AB. I september 2021 togs anläggningen vid Setra Kastets sågverk i Gävle i drift. Pyrocell tillverkar pyrolysolja av sågverkets sågspån och oljan raffinerar sedan till biodrivmedel i Preems raffinaderi i Lysekil. Den planerade årsproduktionen är 25 000 ton icke-fossil pyrolysolja.³³ För detta behövs drygt 80 000 ton sågspån.

För att öka produktionen av förnybart bränsle har Preem ansökt om ett miljötillstånd för att kunna bygga en helt ny anläggning i Göteborg. Miljötillstånd för detta är beviljat men överklagat. Den nya anläggningen kommer vara designad för att med stor flexibilitet tillverka förnybara fordonsbränslen och flygbränslen och kommer att ha en årlig produktionskapacitet på en miljon kubikmeter drivmedel; förnybar diesel (HVO) och biojetbränsle (HEFA). Målet är anläggningen ska kunna vara i drift cirka 2026.³⁴

Shell har i ett samarbete med Vattenfall, SAS och LanzaTech beslutat att genomföra en förstudie för storskalig tillverkning av bioflygbränsle från vätgas och koldioxid i Uppland. Förväntad produktionskapacitet är 50 000 ton med planerad start 2027 enligt ett pressmeddelande tredje november 2021. Processen kan förenklat beskrivas på följande sätt; vätgas produceras genom elektrolys av vatten med fossilfri el. Sedan tillverkas etanol från vätgas och återvunnen koldioxid. Sedan omvandlas etanolen till flygbränsle, så kallat elektrobränsle via Alcohol-to-Jet metoden. Kolet ska komma från koldioxiden vid Vattenfalls kraftvärmeverk i Uppsala där ungefär 200 000 ton koldioxid kan samlas in varje år och den fossilfria elen från Forsmark.³⁵

Sasol ecoFT, Uniper och Sollefteå kommun har ett projekt tillsammans, SkyFuel H2, där de undersöker möjligheten att bygga en anläggning för elektrobränslen via en FT-förgasningsprocess (Fischer-Tropsch) som med hjälp av vätgas har potential att nyttiggöra en mycket hög andel av kolet i den skogliga biomassan. Planen är att anläggningen ska byggas i Långsele och konstruktionen av anläggningen påbörjas 2024, för att kunna tas i drift 2026 med en produktionskapacitet på cirka 100 000 ton SAF per år. Biomassa-behovet beräknas till mellan 200 000–300 000 ton torrsbstans per år.^{36,37}

En förstudie genomförs av TreePower med Luleå Business Region som projektägare, med målet att utveckla förutsättningar för att starta en storskalig kommersiell inhemsk produktion av bioflygbränsle i Norrbotten, baserat lokala skogliga restprodukter och förnybar el.³⁸

I Tabell 6, är de initiativ och satsningar som görs i Sverige gällande produktion av biodrivmedel sammanfattade. De generella affärsmodeller som används är att antingen en råvaruleverantör och/eller teknikleverantör går ihop med en drivmedelproducent i ett så kallat "joint venture", antingen som gemensamt styrd verksamhet (St1 och SCA) eller gemensam verksamhet det vill säga bildandet av ett gemensamt bolag (Preem och Setra, samt Preem och Renfuel).

³³ Setra. (2021). Pressmeddelande, 20 september. <https://setragroup.com/sv/press/pressmeddelanden/2021/pyrocell-har-startat-sin-produktion/> Läst: 2022-10-18

³⁴ Preem årsredovisning 2021. https://www.preem.se/globalassets/om-preem/finansiell-info/arsredovisningar/2021/PREEM_ar_2021.pdf Läst: 2022-10-18

³⁵ Vattenfall. (2021). Pressmeddelande, 3 november. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2021/sas-vattenfall-shell-och-anza-tech-ska-undersoka-mojligheten-att-producera-hallbart-flygbransle> Läst: 2022-10-18

³⁶ Quayle, A & von Eichwald, S. (2022). Produktionsanläggning för hållbart flygbränsle planeras i Långsele. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/industri-satsningen-i-langsele> Läst: 2022-10-19

³⁷ Uniper. <https://www.uniper.energy/sweden/jetfuel> Läst: 2022-10-19

³⁸ TreePower. <https://www.treepower.se/vad-ar-tree-power/> Läst: 2022-10-19

Tabell 6: Sammanfattning av de initiativ och satsningar som görs i Sverige gällande produktion av biodrivmedel.

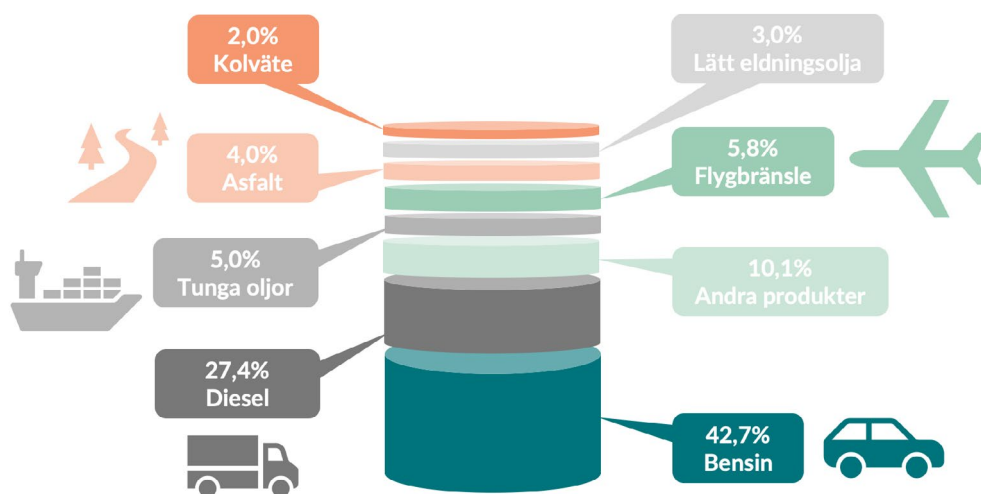
| Aktörer | Teknik | Råvara | Plats | Kapacitet | Tidsspann | Affärsmodell |
|--|--|---|--------------------|---|--|---|
| Vattenfall, SAS, Shell & Lanza-Tech | Elektrobränsle via "Alcohol to Jet" | Förnybar el, vatten och infångad koldioxid från fjärrvärme. | Forsmark | 50 000 ton/år elektrobränsle | Gör förstudie nu. Förutsatt ett framtida investeringsbeslut kan produktionen starta redan 2026-27. | Ett bränsleproduktions-projekt med fyra parter, som representerar hela värdekedjan från råvaruägare till slut kund. |
| SCA & St1 | HVO/HEFA | Tallolja, men kommer även ha kapacitet att använda ett brett spektrum av andra råvaror. | Göteborg | 200 000 ton /år biodrivmedel | Bioraffinaderiet förväntas tas i drift vid halvårsskiftet 2023. | Gemensamt ägarskap; råvaruägare och producent av drivmedel. |
| SCA & St1 | Inriktad på teknik som ännu är under utveckling. | Svartlut och fast biomassa, som sågspån och bark. | Timrå | 300 000 ton/år biodrivmedel (enligt ansökt miljötillstånd) | Går inte att säga när ett eventuellt investeringsbeslut kan bli aktuellt. | Gemensamt ägarskap; råvaruägare och producent av drivmedel. |
| Preem | HVO | Tallolja, animaliska oljor, återvunna matolja m.m. | Göteborg | Planerad ökning av produktionskapacitet från dagens 0,32 Mm ³ till 1,3 Mm ³ | Uppstart under 2026. | Producent av drivmedel. |
| Preem & Setra | Pyrolys | Sågspån | Gävle | 25 000 ton/år icke-fossil pyrolysolja | Togs i drift i september 2021. | Gemensamt ägarskap; råvaruägare och producent av drivmedel. Gemensam ägare av bolaget Pyrocell. |
| Preem & Renfuel | Katalytisk process | Lignin | Vallvik, Söderhamn | 25 000-30 000 ton/år ligninolja | Förväntas vara färdig 2021 enligt pressmeddelande 24 maj 2018. Dock ingen uppstartad produktion idag (november 2022). | Gemensamt ägarskap teknikleverantör och producent av drivmedel. Gemensam ägare av bolaget Lignolproduktion AB. |
| Sasol ecoFT, Uniper & Sollefteå kommun | Elektrobränslen via FT (Fischer Tropsch) | Skoglig biomassa & förnybar el | Långsele | 100 000 ton SAF/år | Gör förstudie nu. Tas i drift år 2026. | Industriprojekt Teknikleverantör, råvaruleverantör (el) och kommun. |

1.2.2 Framtida affärsmodeller

Nya affärsmodeller, för en storskalig produktion av SAF med skoglig biomassa som bas, kommer att konkurrera med befintliga producenter. Neste investerar för att möta ökad efterfrågan på SAF genom att producera HEFA (hydrerade estrar och fettsyror). Neste går från att producera 100 000 ton 2021 till 1,5 miljoner ton HEFA 2022. Råvaror för denna produktionsökning är oljor och fetter. Den nya kapacitetsökningen sker främst i Singapore, andra anläggningar finns i Borgå Finland och Rotterdam i Holland. EU:s reduktionspliktsmål för flyget år 2025 är 2 procent SAF. Detta motsvarar cirka 1 miljon ton SAF. Så i närtid kan reduktionsplikten uppfyllas med Nestes produktion.

I ett raffinaderi fås olika fraktioner ut av oljan. Generellt sett ger ett ton olja 42,7 procent bensin, 27,4 procent diesel, 5 procent tunga oljor, 5,8 procent flygbränsle, 4 procent asfalt, 3 procent lätt eldningsolja som används för uppvärmning av till exempel hus och industriella byggnader, 2 procent kolvätegasvätskor (HGL, Hydrocarbon gas liquids) som propan och butan som används i bland annat vattenvärmsystem och spishällar och 10,1 procent andra produkter så som petrokemisk råvara, vaxer, smörjmedel och polymermedel.³⁹

Figur 14: Generell procentuell andel av produkter som fås ut av råolja.⁴⁰



Om vi i framtiden ska använda skoglig biomassa för att producera flygbränsle kommer motsvarande produktkatalog att se annorlunda ut. Valet av teknik styr vilken produktmix som kommer att behöva hanteras och vinst-maximeras. Förgasningstekniken Fisher Tropsch kan exempelvis styras mot olika utbyten av gasol/LPG (Liquefied petroleum gas), bensin Nafta, kerosen/SAF och vaxer. Alcohol-to-Jet ger olika fraktioner av diesel och flygbränslefraktioner. Eftersom kemiindustrins efterfrågan på gröna kemikalier spås bli stor går det att anta att en framtida produktion av SAF sannolikt kommer att påverkas av detta. Kemi-industrin har inte gjort någon färdplan inom ramen för Fossilfritt Sverige. Men uppskattningarna som görs i Bioenergi och bioråvara i industrins omställning anger ett behov av primär energi år 2030 på 1,5–2,5 TWh per år. Motsvarande siffra år 2045 är 0–25 TWh per år.

³⁹ Conte, N. (2021). What's Made from a Barrel of Oil?. <https://www.visualcapitalist.com/whats-made-barrel-of-oil/> Läst: 2022-10-19

⁴⁰ Conte, N. (2021). What's Made from a Barrel of Oil?. <https://www.visualcapitalist.com/whats-made-barrel-of-oil/> Läst: 2022-10-19

Framtida affärsmodeller kommer att behöva skapa värden för såväl råvaruägare som drivmedelsproducenter. Kunskap om behov och betalningsvilja för gröna kemikalier och drivmedel kommer att behövas. En produktion baserad på skoglig biomassa kommer att konkurrera med en produktion baserad på oljor och fetter som redan finns. Det kommer alltså att krävas långsiktiga politiska styrmedel och garantier runt avsättning av SAF, skatter och råvara samt kapital för att få en produktion att växa fram. De nya affärsmodellerna kommer förmodligen även att skapa en efterfråga på branschövergripande kompetenser mellan skogs-, kemi- och drivmedelsindustri.

1.3 Certifieringar

Flygbränslen måste bevisas vara säkra och tekniskt sunda, och flygindustrin måste ha förtroende för dem.

Standarder relaterade till jetbränslen måste möta olika krav specificerade i olika standarder. Detta innebär att ett jetbränsle (oavsett ursprung) i kommersiella applikationer måste möta kraven i relaterade standarder.

- ASTM D1655 definierar parametrar som måste mötas för att kunna klassas som ett kommersiellt jetbränsle (t.ex. att bränslet minst måste producera 42,8 MJ per kilo energi med en densitet mellan 775–840 kilo per kubikmeter) samt listar acceptabla additiv i bränslet.
- ASTM D7566 som är en standard för jetbränsle innehållande syntetiska kolväten. Denna standard är "stand-alone" och separat från konventionella jetbränslen vilka specificeras i D1655. Det är i denna standard, D7566, som alternativa jetbränslen definieras och beskrivs i relaterade appendix.

Det finns sju certifierade biojetbränslen för användning i kommersiella flygningar, med blandningsförhållanden upp till 50 procent beroende på vilken teknik det gäller och kompatibilitet med befintlig bränsleinfrastruktur.⁴¹ De sju certifierade bränslena kommer från fyra olika biobaserade produktionsvägar; hydrerade estrar och fettsyror (HEFA), Alcohol-to-Jet (AtJ), Fischer-Tropsch (FT) och direktfermentering av socker (DSHC). Dessa är tillåtna att blandas (upp till 50 procent) i konventionell Jet A1 enligt standarden för flygbränsle.

Stora flygbolag och flygplans- och motortillverkare, såväl som många flygplatser, har erfarenhet av biojet och är offentligt engagerade i att kommersialisera hållbara flygbränslen (SAF). SAF inkluderar bränslen tillverkade av biologiska källor för att göra biojet (se certifiering i Tabell 7), och förnybara icke-biologiska källor för att producera "power-to-liquids". Industri och regeringar måste utvärdera och certifiera nya bränslen och dela lärdomar inom branschen, men framgångarna hittills är tillräckliga för att stödja betydande SAF-expansion.

Nyligen genomfördes den första kommersiella flygningen med 100 procent SAF, vilket ger tilltro att 100 procent SAF eller höginblandning av SAF kan komma att certifieras i framtiden.

Elektrobränslen har potential att nyttja redan existerande certifierade produktionsvägar som till exempel FT-SPK.

⁴¹ IEA Bioenergy (2021)

Tabell 7: Certifiering av SAF bioflygbränsle.⁴²

| | Produktionsväg | Max. inblandning | Råvara |
|-------|--|------------------|---|
| A1 | Fischer-Tropsch (FT-SPK) | 50procent | Kol, naturgas, biomassa |
| A2 | Hydrerade estrar och fettsyror (HEFA)** | 50procent | Bioolja, animaliska fetter, restoljor |
| A3 | Hydrerade fermenterat socker – syntetisk iso-paraffinisk fotogen (HFS-SIP) | 10procent | Biomassa som används för sockerproduktion |
| A4 | Fischer-Tropsch (FT-SPK/A)* | 50procent | Kol, naturgas och biomassa |
| A5 | Alkohol-till-Jet Syntetisk paraffinisk fotogen (ATJ-SPK)*** | 50procent | Kol, naturgas och biomassa |
| A6 | Katalytisk hydrotermolys jetbränsle (CHJ) | 50procent | Triglycerider (sojaolja, jathrophaolja, rapsolja) |
| A7 | Syntetiska paraffinisk fotogen av estrar och fettsyror (HC-HEFA-SPK) | 10procent | Alger |
| D1655 | Lipids Co-processing | 5procent | |
| D1655 | FT Co-processing | 5procent | |

Notera:

* FT-SPK/A är en variant av FT-SPK som inkluderar alkylering av lättare aromater vilket resulterar i ett bränsle mer likt konventionellt jetbränsle (EASA).

** HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids, också kallad HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), är ett förnybart dieselbränsle som kan produceras från många olika typer av vegetabiliska oljor och fetter.

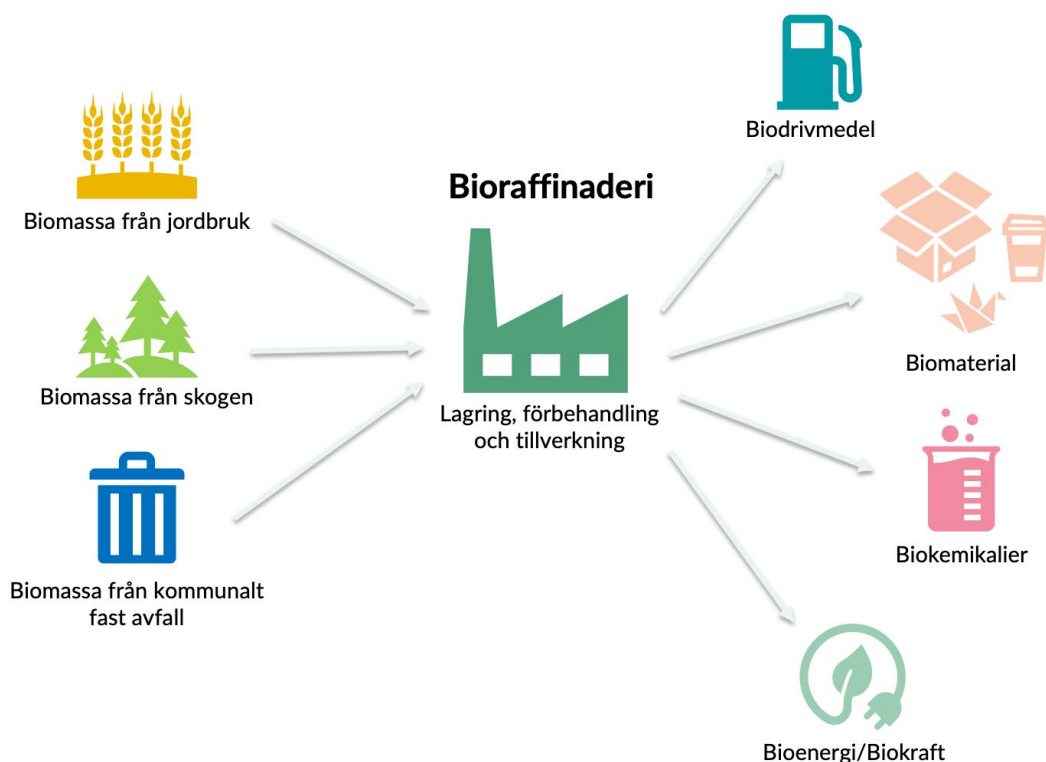
*** ATJ-SPK har nyligen fått utökad inblandning upp till 50procent.

⁴² ICAO. (2021). <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx> Läst: 2022-08-23

1.4 Teknisk översikt

Ett bioraffinaderi kan definieras som en fabrik för ”hållbar förädling av biomassa till ett spektrum av biobaserade produkter (livsmedel, foder, kemikalier, material) och bioenergi (biobränslen, kraft och/eller värme)”. Bioraffinaderier är processanläggningar som omvandlar biomassa till förädlade produkter som biodrivmedel, biokemikalier, bioenergi/biokraft och andra biomaterial, se Figur 15.

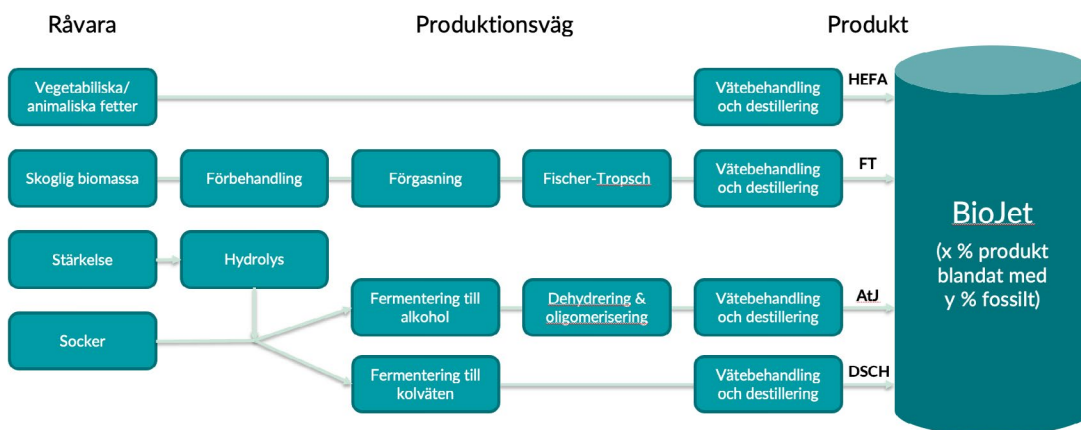
Figur 15: Schematisk överblick av ett bioraffinaderi.



Det finns olika typer av bioraffinaderier. De flesta av dem definieras huvudsakligen utifrån den enskilda råvaran, såsom majsbaserat bioraffinaderi, skogsbaserat bioraffinaderi, palmbaserat bioraffinaderi, algbaserat bioraffinaderi etcetera, med olika omvandlingsplattformar (termokemiska, biologiska, katalytisk och fysikalisk) för att omvandla råvaran till produkter.

De fyra olika biobaserade produktionsvägar som är certifierade för inblandning i flygplansbränsle är hydrerade estrar och fettsyror (HEFA), Alcohol-to-Jet (AtJ), Fischer-Tropsch (FT) och direktfermentering av socker (DSHC). Flygplansbränslet kallas för BioJet med inblandning av dessa, se Figur 16.

Figur 16: De fyra certifierade biobaserade produktionsvägarna för inblandning i flygbränsle enligt standard ASTM 7566-18: hydrerade estrar och fettsyror (HEFA), Alcohol-to-Jet (AtJ), Fischer-Tropsch (FT) och direktfermentering av socker (DSHC).⁴³



1.4.1 HEFA – hydrerade estrar och fettsyror

Hydrerade (vätebehandlade) estrar och fettsyror (HEFA – "Hydroprocessed Esters and Fatty Acids") kan även kallas för HVO ("Hydrotreated Vegetable Oil"). Vegetabiliska och animaliska oljor och fetter, samt avfallsoljor, till exempel använd matolja, kan användas som råvara för att producera HEFA. HVO/HEFA tillverkas genom att råvaran reagerar med väte under högt tryck för att avlägsna syre. De kolvätekedjor som bildas är kemiskt likvärdiga med petroleumdiesel, vilket innebär att HEFA/HVO kan användas i dieselmotorer utan volymbegränsningar för inblandning till exempel användning av biodiesel. Vanligtvis produceras propan som en biprodukt.⁴⁴

Den enda produktionsväg som har kommersiell produktion idag av bioflygbränsle är HEFA/HVO-processen. Dock är tillgång på råvaror en av de största utmaningarna. Eftersom HEFA/HVO också används för drivmedel för vägtransport kan en konkurrenssituation uppstå om vissa råvaror mellan de båda drivmedelsproduktionerna, det vill säga mellan produktion till flyg och produktion till vägtransport. Skoglig biomassa kan inte med dagens tekniker användas för HEFA-produktion.

År 2021 använde Sverige 16 TWh HVO och huvuddelen av råvarorna till HVO utgjordes av animaliska fetter, så som slakteriavfall och annat avfall från livsmedelsindustrin. I Sverige används främst råttallolja (2021), som är en restprodukt från pappers- och massaindustrin, för produktion av HVO. Råttallolja står för cirka 19 procent (2021) av den råvara som används för produktion av den HVO som används i Sverige.⁴⁵ Begränsad tillgång till råvaror, konkurrens med produktion av drivmedel för vägtransport och att skoglig biomassa inte kan användas som råvara utgör hinder för att HEFA/HVO-processen ska kunna användas för produktion av flygplansdrivmedel i norra Sverige.

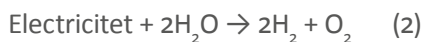
⁴³ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2020). "Bioflygbränsle, Biojet. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel". Nr 8. <https://f3centre.se/sv/faktablad/bioflygbransle-biojet/> Läst: 2022-09-05

⁴⁴ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2016). "HEFA/HVO, Hydroprocessed Esters and Fatty Acids. F3 Fact sheet - Category: Fuels". Nr 5. <https://f3centre.se/sv/faktablad/hefa-hvo-hydroprocessed-esters-and-fatty-acids/> Läst: 2022-09-05

⁴⁵ Energimyndigheten. (2022). Drivmedel 2021. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=208409> Läst: 2022-09-07

1.4.2 FT – Fisher Tropsch

Fischer-Tropsch (FT) processen är en gas-till-vätska polymerisationsteknik som genom en serie av kemiska reaktioner kan användas för att uppgradera syntesgas (blandning av vätgas, H₂ och kolmonoxid, CO) till vätskeformiga bränsle (se Figur 17). För att framställa syntesgasen kan både fossil- och biobaserad råvara användas. Genom förgasning omvandlas en kolkälla till syntesgas. Detta uppnås genom att utsätta råmaterialet för höga temperaturer utan att förbränning sker samt genom att kontrollera mängden syre och/eller ånga som finns tillgängligt under reaktionen. Används biomassa som råvara, till exempel bark och grot, behöver den förbehandlas innan förgasningssteget. Förbehandlingen kan till exempel vara torkning och någon form av malning. Eftersom en metallkatalysator används i FT processen måste syntesgasen renas från föroreningar, så som svavelföreningar, efter förgasningen. Ingående syntesgas till FT processen behöver ha ett överskott av vätgas, det vill säga bestå av mer vätgas i förhållande till kolmonoxid. Detta kan uppnås genom en "water gas shift" (WGS) reaktion; en kemisk reaktion som sker mellan kolmonoxid (CO) och vattenånga (H₂O) med hjälp av en katalysator, vilket bildar koldioxid (CO₂) och vätgas (H₂), se reaktionsformel 1.^{46,47} Även elektrolys, det vill säga att elektricitet används för att driva en annars icke-spontan kemisk reaktion, av vatten (H₂O) kan användas för att bilda vätgas (H₂) och syrgas (O₂), se reaktionsformel 2. På detta sätt kan en större mängd bränsle produceras från samma mängd biomassa.⁴⁸ Denna metod kan vara lämplig vid sajter med elöverskott till exempel massafabriker eller där överskotts el finns som i Sollefteå eller Östersund.



FT processen genererar en stor mängd värme, vilket kan vara värdefullt vid integrering med andra processer eller i ett fjärrvärmenät.

Efter FT reaktionssteget kortas långa kolväten ner till önskad längd genom vätebehandling. För att få ut den önskade fraktionen som kan användas för inbladning vid produktion av BioJet görs en fraktionering av längden på kolvätena baserat på kokpunkt via destillering. Med FT processen kan cirka 50–70 procent av produkten användas till produktion av bioflygbränsle. Resterande produkter som fås ut är diesel och nafta (korta kolvätekedjor).⁴⁹ Oavsett driftsförhållanden producerar FT-syntesen alltid ett brett utbud av olefiner, paraffiner och syresatta produkter (alkoholer, aldehyder, syror och ketoner). De parametrar som påverkar spridningen av produkterna är temperatur, matargassammansättning, tryck och katalysator-typ. Det finns dock alltid ett fast inbördes samband mellan de enskilda produkterna oavsett vilka parametrar som ändrats.⁵⁰ Generellt kan cirka 35–50 procent av energin i råvaran bli till drivmedel. Effektiviteten påverkas dock mycket av processuppställning och val av råvara.⁵¹

⁴⁶ Ojeda, M & Rojas, S. (2010). Biofuels from Fischer-Tropsch synthesis. New York, Nova Science Publishers.

⁴⁷ Michaga, M.F.R. Michailos, S. Hughes, K.J. Ingham, D. & Pourkashanian, M. (2021). 10 - Techno-economic and life cycle assessment review of sustainable aviation fuel produced via biomass gasification. Sustainable Biofuels. Elsevier Inc. pp. 269–303.

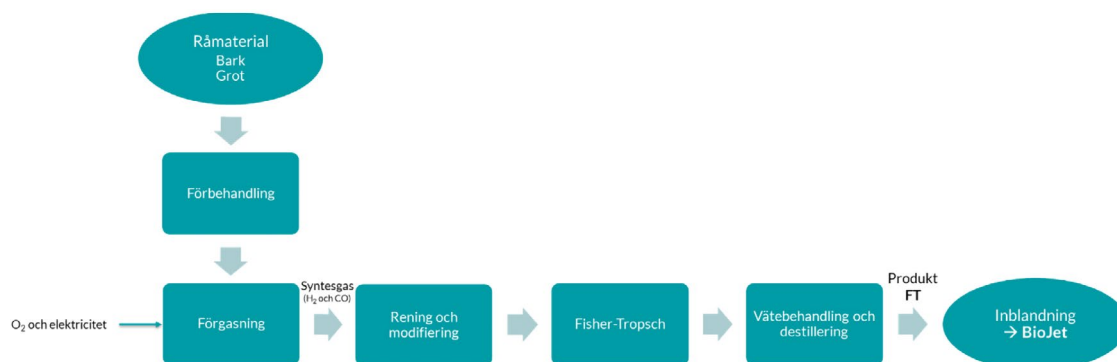
⁴⁸ Dossow, M. Dieterich, V. Hanel, A. Spliethoff, H & Fendt, S. (2021). Improving carbon efficiency for an advanced Biomass-to-Liquid process using hydrogen and oxygen from electrolysis. Renewable & sustainable energy reviews. 152. 111670.

⁴⁹ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2020). Bioflygbränsle, Biojet. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel. Nr 8. <https://f3centre.se/sv/faktablad/bioflygbransle-biojet/> Läst: 2022-09-05

⁵⁰ Dry, M. E. (2022). The Fischer-Tropsch process: 1950–2000. Catalysis today. Vol. 71. 227–241.

⁵¹ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2020). Bioflygbränsle, Biojet. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel. Nr 8. <https://f3centre.se/sv/faktablad/bioflygbransle-biojet/> Läst: 2022-09-05

Figur 17: Schematisk översikt av framställning av bioflygbränsle med Fischer-Tropsch processen, med bark och grot som råvara.



I dagsläget finns ingen storskalig produktion av flygbränsle från biobaserad råvara genom FT-processen. Det finns dock snarlik kommersiell teknik för fossilbaserad råvara. Bildningen av tjära vid förgasning av biomassa är en av de större utmaningarna för kommersialisering av biomassaförgasning. Tjära påverkar effektiviteten och driften negativt i förgasningen eftersom det blockerar och smutsar ner processutrustningen.⁵² För att minska risken vid förgasning av biomassa går det att ha ett försteg där biomassan omvandlas till bioolja via pyrolys, det vill säga termiska nedbrytningen av biomassa, som sker i frånvaro av syre eller när betydligt mindre syre tillförs än vad som behövs för fullständig förbränning. Fördelarna med att använda pyrolysolja i stället för fast biomassa är att den är lättare att processa och att orenheter som metaller kan separeras ut, och på så sätt minskar mängden askbildande element.⁵³ Dock innebär även användningen av pyrolysolja i stället för fast biomassa i förgasningen ett extra steg i processen som kräver mycket energi samt utbytesförlust. Vid pyrolys måste även i princip samma förbehandling av biomassan göras som vid förgasning, det vill säga torkning och malning.

1.4.3 Sockerplattform

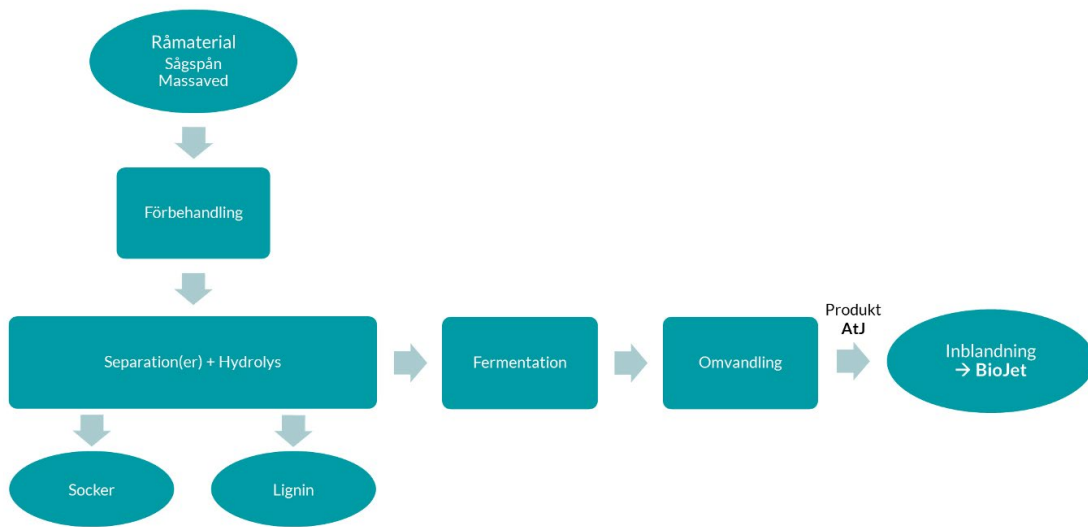
För att designa ett hållbart bioraffinaderi/integrerat bioraffinaderi finns olika processdesignalternativ tillgängliga så som steam explosion, organosolv och joniska vätskor. I ett bioraffinaderi med en sockerplattform fraktioneras biomassa till åtminstone ett sockerflöde samt andra flöden som kan förädlas på olika sätt.

Socker kan via AtJ (alcohol-to-jet) certifierade vägar jäsas till etanol eller butanol och omvandlas till bioflygbränsle, se figur 18.

⁵² Ojeda, M & Rojas, S. (2010). Biofuels from Fischer-Tropsch synthesis. New York, Nova Science Publishers.

⁵³ Leijenhorsta, E. J. et al. (2015). Entrained flow gasification of straw- and wood- derived pyrolysis oil in a pressurized oxygen blown gasifier. Biomass and Bioenergy. Vol. 79. 166-176

Figur 18: Schematisk översikt av framställning av bioflygbränsle med en fraktioneringsprocess, som nyttjar sågspån eller massaved som råvara.



1.4.3.1 Steamexplosion och Enzymatisk hydrolys

Att göra socker från skoglig biomassa - som trä och skörderester - är en mer komplex process än att använda stärkelsebaserade grödor. De primära vägarna för att producera cellulossocker involverar en förbehandling för att frigöra hemicellulossocker följt av hydrolys för att bryta ned cellulosa till sockerarter.

Skoglig biomassa kan selektivt brytas ner till socker och separeras. Fördelen med teknologin är att det skapas flera olika förädlingsmöjligheter utifrån de olika fraktioner som skapas. Teknologin kan skapa ett relativt rent sockerflöde vilket skulle kunna nyttjas för att producera bulkkemikalier med högre förädlingsgrad jämfört med biodrivmedel.

Till exempel så kan cirka 32 kg (torr) mjölksyra produceras från 100 kg (torr) vedråvara samtidigt som sockerflöden av lägre kvalitet kan nyttjas för att producera produkter av lägre värden, exempelvis kan 8 kg etanol produceras av det flödet som sekundärprodukt.

Kommersiell status: Teknologin har kommersialiserats för att producera etanol baserad på jordbruksrester.⁵⁴ Miljoner ton mjölksyra produceras från socker globalt.⁵⁵

1.4.3.2 Organosolvförbehandling

Organosolvförbehandling avser en biomassaförbehandlingsprocess med organiska lösningsmedel med eller utan tillsats av katalysator. För att främja förbehandlingens effektivitet används vanligtvis externa katalysatorer, såsom mineralsyror eller starka organiska syror.

Det finns inneboende nackdelar med syrakatalyserad organosolv. Det är nödvändigt att tvätta de förbehandlade fasta ämnena med organiskt lösningsmedel före vattentvättning för att undvika återutfällning av löst lignin. Även om de organiska lösningsmedlen lätt kan återvinnas genom

⁵⁴ Clariant Romania. (2021). Clariant completes construction of first commercial sunliquid® cellulosic ethanol plant in Podari, Romania. <https://www.clariant.com/en/Business-Units/Biofuels-and-Derivatives/Sunliquid> Läst: 2022-10-17

⁵⁵ Statista. (2022). <https://www.statista.com/statistics/1310495/lactic-acid-market-volume-worldwide/> Läst: 2022-10-17

destillation eller indunstning för återanvändning, är kostnaden för kemikalier och energiförbrukningen för återvinning av lösningsmedel fortfarande högre än för andra ledande förbehandlingsprocesser. Förbehandling med organisk syra påverkar cellulosa, vilket avsevärt kan minska möjligheten att bryta ner cellulosa till socker. En annan nackdel är relaterad till den betydande mängden furfural, HMF (HydroxyMetyl Furfural) och lösliga fenoler från lignin som bildas efter förbehandling. Dessa kemikalier kan förhindra aktivitet hos organismer som ska jäsa socker, men det har utvecklats teknik för att minska dessa biprodukter.

Kommersiell status: Vi har ej kännedom att teknologin byggts i fullstor skala.

1.4.3.3 Joniska vätskor

En jonisk vätska är ett salt i flytande tillstånd. Joniska vätskor kan användas som lösningsmedel för cellulosa och skoglig biomassa samt för deras förbehandling före enzymatisk hydrolys för att erhålla sockerarter. Joniska vätskor har förmågan att selektivt lösa upp biomassakomponenter. Det är fortfarande en utmaning att skapa en process för återvinning av salterna som används vid upplösning av biomassakomponenter. De mer praktiska utmaningarna i processen är kopplade till toxicitet, höga kostnader, höga viskositeter, låg belastning av fasta ämnen och komplex återvinning, vilka är nyckelfaktorer som hindrar det storskaliga användandet av joniska vätskor som lösningsmedel för förbehandling i ett kommersiellt bioraffinaderi.

Kommersiell status: Vi har ej kännedom att teknologin byggts i fullstor skala.

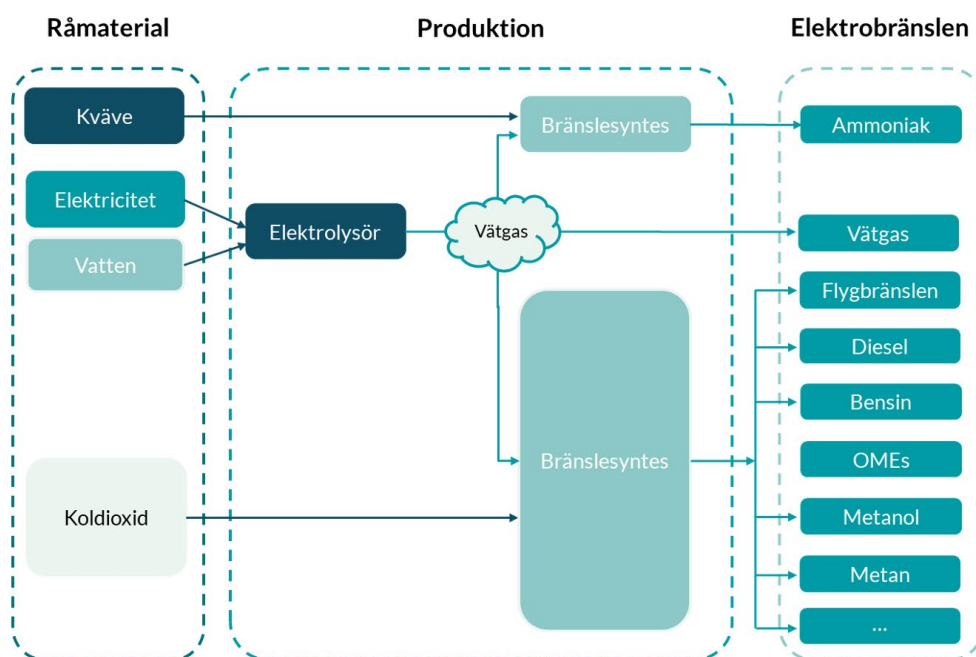
1.4.3.4 Utmaningar i sockerplattformen

Alcohol-to-jet (ATJ) är en process för omvandling av alkoholer (till exempel etanol eller butanol) till ett alternativt jetbränsleblandningsmaterial baserat på katalytiska steg som historiskt använts av petroleumraffinering och petrokemiindustri. För första generationens etanol används främst socker från majs och sockerrör som råvara. Men användningen av grödor för drivmedelsproduktion är omdebatterad och EU har satt ett tak för den. För att bredda råvarubasen har teknik för att producera såväl etanol som butanol från skoglig biomassa, till exempel sågspån och halm, utvecklats (se ovanstående). Restströmmar från befintlig industri kan också vara ett viktigt komplement till råvarubasen. Att omvandla biomassa till AtJ-baserat bioflygbränsle kan ske med låg miljöpåverkan. Den övergripande miljöprestandan är en kombination av val och metod för insamling av råvara och den specifika produktionsvägen.

1.4.4 Elektrobränslen

Elektrobränslen är bränslen framställda av förnybar elektricitet, vatten och koldioxid eller kväve. En förenklad beskrivning av produktionen kan ses i Figur 19, där elektricitet och vatten i en elektrolysprocess först bildar vätgas. Vätgasen kan i sin tur kombineras med kväve eller koldioxid för att producera elektrobränslen som till exempel flygbränslen, diesel, metanol och ammoniak. Koldioxiden som ofta används i produktionen av elektrobränslen kommer vanligtvis från produktion av flytande biodrivmedel, från rökgaser eller har fångats in från luften. Kväve som också kan användas vid produktionen är oftast infångat från luften.⁵⁶

⁵⁶ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2021). Elektrobränslen. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel. Nr 9. <https://f3centre.se/sv/faktablad/elektrobranslen/> Läst: 2022-10-31

Figur 19: Förenklad schematisk översikt av produktion av olika elektrobränslen.⁵⁷

Elektrobränslen kan användas som drivmedel i många av de befintliga flygplan, fordon och fartyg. Omställning av bränsleinfrastruktur och investeringar blir därmed inte behöver vara omständliga eller stora. I dagsläget konkurrerar dock befintliga drivmedel och direktverkande el i motorer ut elektrobränslen då energiomvandlings effektiviteten är högre och produktionskostnaderna lägre för till exempel, diesel och bensin. Intressant nog så är elektrobränslen av intresse inom sektorer som långdistansflyg och djupsjöfart där befintliga flytande bränslen med hög energitäthet är svåra att ersätta med till exempel elverkande motorer.⁵⁸

Elektrobränslen kan lagra energi och på så sätt skulle kunna bidra till att ta vara på överskotts- eller lågkostnadsel och på så sätt balansera elproduktionen. Några av de biprodukter som elektrobränslen genererar vid produktion är till exempel ren syrgas och värme som i sin tur skulle kunna säljas och användas vidare. Dock så är den kombinerande energiomvandlingen från el till bränsle och effektiviteten fortfarande en utmaning i jämförelse med direktverkande el i motorer.⁵⁹

Kostnader för exempel elektrolysörer och el, vid produktion av elektrobränslen är dominerande och påverkar produktionskostnaderna. Dessa kostnader är väldigt beroende av regionala förutsättningar för förnybar elproduktion för att kunna hålla ner produktionskostnaderna. Kostnadsberäkningar för elektrobränslen är osäkra eftersom konceptet är ganska nytt och vissa produktionssteg fortfarande utvecklas. Bioelektrobränslen som till exempel bio-elektro-metanol och bio-elektro-metan har lägre produktionskostnaderna jämfört med elektrobränslen som producerats med infångat kol. Det elektrobränsle som uppskattas ha de högsta kostnaderna är elektrojetbränslen. Produktionskostnaderna för olika typer av

⁵⁷ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2021). Elektrobränslen. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel. Nr 9. <https://f3centre.se/sv/faktablad/elektrobranslen/> Läst: 2022-10-31

⁵⁸ Grahn, M. Malmgren, E. Korberg, A. D. Taljegard, M. Anderson, J.E. & Brynolf, S. (2022). Review of electrofuel feasibility — cost and environmental impact. Progress in Energy. Vol 4. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac7937>

⁵⁹ Grahn, M. Malmgren, E. Korberg, A. D. Taljegard, M. Anderson, J.E. & Brynolf, S. (2022). Review of electrofuel feasibility — cost and environmental impact. Progress in Energy. Vol 4. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac7937>

elektrobränslen i framtiden ser lovande ut, men är just nu för dyra för att konkurrera med andra tekniska alternativ.^{60,61}

I det reviderade EU-direktivet om förnybara bränslen (RED II) anges att elektrobränslen är ett förnybart flytande och gasformigt transportbränsle av icke-biologiskt ursprung (RFNBO, Renewable fuels of non-biological origin) om el innehållet är förnybart. Detta innebär i praktiken användning av förnybar el från jord-, sol- eller vindkraft. Se definition från RED II nedan:

“Renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin” means liquid or gaseous fuels which are used in the transport sector other than biofuels or biogas, the energy content of which is derived from renewable sources other than biomass.”⁶²

1.5 Värdekedjeanalys

För att möta EUs klimatmål för SAF till 2050, behöver marknaden nå en total volym på cirka 18 miljoner ton SAF varav cirka 5 miljoner ton förväntas vara elektrobränslen. Under samma period förväntas marknaden för biodrivmedel för vägtransporter halveras. Detta innebär att cirka 6 miljoner ton HVO och cirka 4,5 miljoner ton etanol potentiellt skulle kunna användas för produktion av cirka 8 miljoner ton SAF. Förutsatt att existerande biodrivmedel i stället kan nyttjas för produktion av SAF så behöver Europa till 2050 nå volymerna via import eller ytterligare produktion av cirka 5 miljoner ton elektrobränsle och 5 miljoner ton SAF för att möta det totala behovet på 18 miljoner ton.⁶³

Vi vill skapa en bild av vilka affärsmöjligheter som finns utifrån lokal råvara för produktion av SAF. Men på grund av att samtliga sektorer står inför ett förändringsbehov med en gemensam målsättningen att nå klimatneutralitet 2050 vill vi också bredda bilden till en bioekonomi som inkluderar samtliga sektorer. Detta gör vi genom att också inkludera produktion av alternativa produkter till biobränslen.

Oavsett vilken typ av biomassa som används så omfattar värdekedjan för produktion av SAF; produktion eller återvinning av råvaran, förbearbetning av biomassa, produktion av SAF och dess distribution till slutkonsumenterna för användning. Eftersom en av de största kostnaderna förenade med produktionsprocessen för SAF är relaterad till transport av råvaror och produkter så är det viktigt att de använda råvarorna bestäms utifrån tillgänglighet nära en specifik region.

Var och en av de presenterade produktionsvägarna beskrivna i 1.4 Teknisk översikt har olika kostnader när det gäller råmaterial och processkrav. Generellt är råvaror som vegetabiliska och animaliska oljor och fetter dyra, men de är lätta att processa. Skoglig biomassa som råvara är generellt billigare men processer för att förädla den är ganska dyra på grund av komplicerad sammansättning av biomassan och de användbara komponenterna i råvaran är vanligtvis inneslutna av lignin. För socker och stärkelse är huvudproblemet att de flesta råvaror erhålls från ätliga grödor och därför konkurrerar med mänsklig konsumtion; ett annat problem är också det låga utbytet för alkoholproduktion, vilket leder till små produktioner av biojetbränsle.⁶⁴

⁶⁰ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2021). Elektrobränslen. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel. Nr 9. <https://f3centret.se/sv/faktablad/elektrobranslen/> Läst: 2022-10-31

⁶¹ Grahn, M. Malmgren, E. Korberg, A. D. Taljegard, M. Anderson, J.E. & Brynolf, S. (2022). Review of electrofuel feasibility — cost and environmental impact. Progress in Energy. Vol 4. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac7937>

⁶² Eur-Lex. (2018). Document 02018L2001-20181221. Directive (EU) 2018/2001 of the European parliament and of the council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. (36) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEXprocent3A02018L2001-20181221> Läst: 2022-11-07

⁶³ Green Car Congress. (2021) <https://www.greencarcongress.com/2021/11/20211104-rabo.html> Läst: 2022-11-22

⁶⁴ Gutiérrez, A. (2021). 9 - Production of renewable aviation fuel at industrial scale: opportunities and challenges. Sustainable Biofuels. Elsevier Inc. pp. 247–267.

1.5.1 Sockerplattform

Biobaserade produkter behövs för att skapa en klimatneutral bioekonomi där till exempel materialen i våra bilar, rengöringsmedel eller våra barns studsmattor är biobaserade. En svensk produktion skapar arbetstillfällen, stärker svenskt näringsliv och landsbygd.

Inom den biobaserade ekonomin som helhet och i driften av ett enskilt bioraffinaderi finns betydande möjligheter för utveckling av biobaserade byggstenar (kemikalier och polymerer) och material (fiberprodukter, stärkelsederivat, etcetera). I många fall sker detta samtidigt som ett bioraffinaderi producerar bioenergi eller biodrivmedel. Det uppskattas att produktionen av biobaserade produkter, förutom biodrivmedel, skulle kunna generera intäkter på 10 miljarder USD till den globala kemiska industrin.⁶⁵ Men nuvarande marknadsförhållanden, osäkerhet om handelsavtal, framtida koldioxidprissättning samt en icke-holistisk och polariserad bioekonomidebatt har hämmat utbyggnaden av biobaserade initiativ mot marknader för biobaserade byggstenar (kemikalier och polymerer).

Trots en icke existerande politisk debatt är området kring biobaserade byggstenar i en massiv tillväxtfas där till exempel produktion av bioplaster förväntas öka från 2,4 miljoner ton 2021 till 7,6 miljoner ton 2026.⁶⁶ Samtliga branscher står inför ett omställningsbehov med behov att minimera sina koldioxidavtryck. På grund av att kemiindustrin producerar en stor andel av produkter som nyttjas i andra sektorer kommer ett indirekt tryck från kemiindustrins kunder att leverera produkter med låga klimatavtryck. Europeisk kemiindustrin har en målsättning av att bli klimatneutrala 2050.

Enkelt uttryckt innebär detta möjligheter att optimera värdeskapande för olika flöden i ett bioraffinaderi, med syftet att också skapa en produktpalet som minskar risktagande genom exponering mot marknadssegment som idag inte kräver politiska styrmedel för att kunna vara konkurrenskraftiga.

1.5.1.1 Affären

Den exemplifierande affären för sockerplattformen producerar mjölk-syra (Lactic acid) som huvudprodukt. Mjölksyra är en så kallad monomer i produktion av den biobaserade polymeren PLA (polylactic acid). Mjölksyra är en intressant produkt eftersom den omvandlas från socker i nära 1:1 förhållande, att jämföras med etanol där endast cirka 50 procent av socker omvandlas till etanol. Mjölksyra har ett pris som är cirka 50 procent högre än priset för 2:a generationens etanol (medräknat subventioner och politiska styrmedel som driver etanolpriset uppåt). Med mjölksyra som produkt fås en tre gånger högre förädlingsgrad från socker jämfört med 2:a generationens etanol.

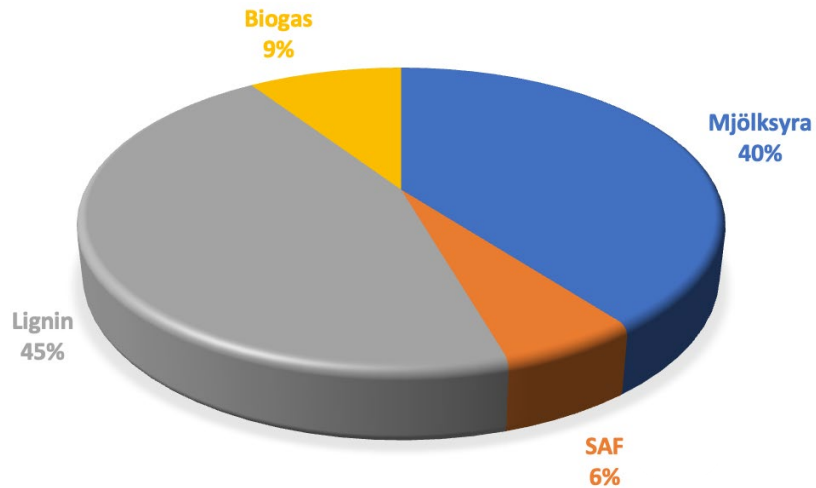
En produkt som mjölksyra som ska säljas mot produktion av polymerer ställer höga krav gällande dess specifikationer, därför kan inte allt socker som en sockerplattform genererar nyttjas för dess produktion. De ”rest-sockerflöden” som skapas nyttjas därför för att producera SAF via ATJ (alcohol-to-jet).

⁶⁵ IEA Bioenergy. (2020). Bio-Based Chemicals - A 2020 Update. Task 42: 2020: 01. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/Bio-based-chemicals-a-2020-update-final-200213.pdf> Läst: 2022-11-09

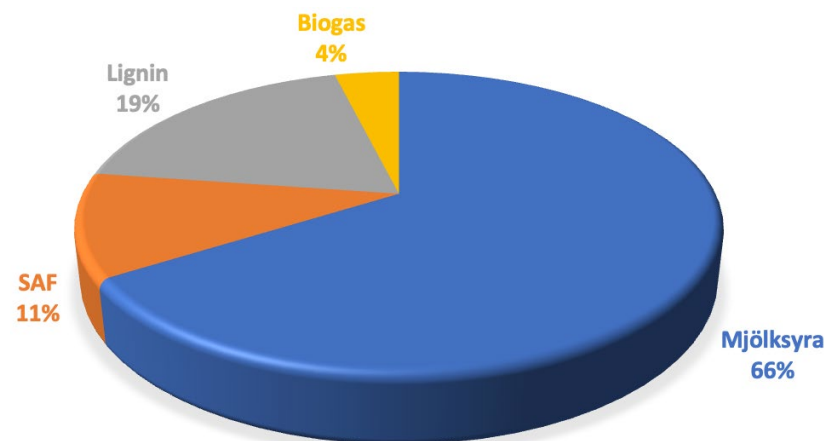
⁶⁶ European bioplastics. (2022). Bioplastics market data. <https://www.european-bioplastics.org/market/> Läst: 2022-11-09

För denna affär produceras SAF som en sekundär produkt där produktionen står för en mindre andel av affärens omsättning, potentiellt skulle denna typ av affär vara möjlig även vid en utökad lagstiftning om kaskad-användning i RED III (se Omvärldsbevakning – Skoglig biomassa). I Figur 20 visas produktfördelningen i volym där lignin är den största produkten och SAF står endast för cirka 6 procent och i Figur 21 visas omsättningsfördelningen där mjölksyra tydligt är affärens huvudprodukt med 66 procent och SAF står endast för 11 procent.

Figur 20: Produktfördelning för sockerplattformens affären.



Figur 21: Omsättningsfördelning för sockerplattformens affären.



Affären kräver tillgång till skogsråvara i tillräckliga volymer, ju större produktionsvolym ju bättre finansiell potential där 100 000 ton torr råvara kan ses som en minimivolymer.

De primärt kostnadsdrivande delarna i affären är främst råvara och sekundärt kostnader för enzymer.

Affären bärs av en tillväxtprodukt, mjölksyra, som säljs mot en marknad helt utan politiska styrmedel. Biprodukten SAF påverkar självklart affären men blir i sig mindre känslig för förändrade marknadsförutsättningar.

1.5.2 Förgasning och FT

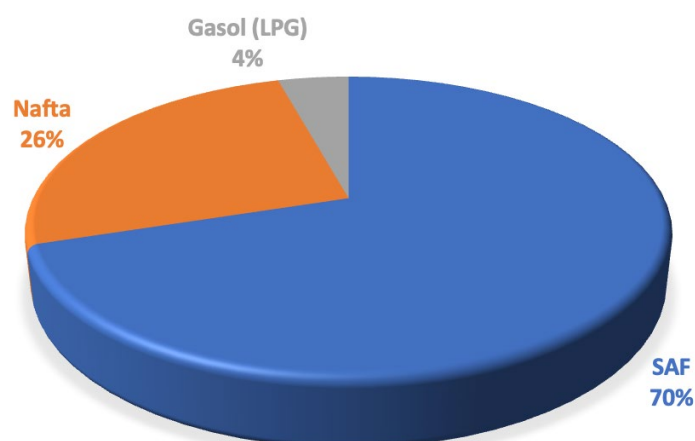
SAF behövs för att skapa en fossilfri transportsektor och ger stor klimatnytta. En svensk produktion skapar arbetstillfällen, stärker svenskt näringsliv och landsbygd. Drivmedel är fordonsbränslen som är producerade från förnybar biomassa. En inhemsk produktion av biodrivmedel bidrar till en förstärkt energiresiliens.

En icke-holistisk och polariserad bioekonomidebatt gynnar möjligheterna för biodrivmedel som av en allmänhet ofta enskilt likställs med en bioekonomi.

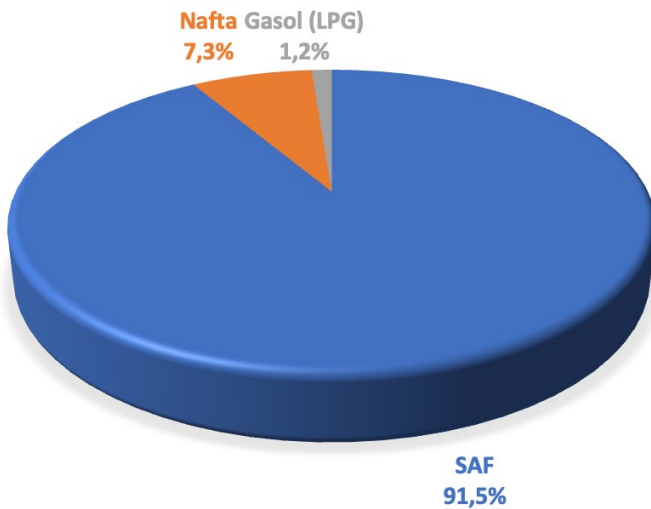
1.5.2.1 Affären

För denna affär produceras SAF som en primär produkt där produktionen står för nästan hela affärens omsättning, potentiellt så kan denna typ av affär bli påverkad av en utökad lagstiftning om kaskadanvändning i RED III (se Omvärldsbevakning – Skoglig biomassa). I Figur 22 visas produktfördelningen utifrån volym och i Figur 23 visar omsättningsfördelningen hur viktig SAF är för affären.

Figur 22: Produktfördelning vid förgasning och FT.



Figur 23: Omsättningsfördelning vid förgasning och FT.



Affären kräver tillgång till skogsråvara och billig el i större volymer. De primärt kostnadsdrivande delarna i affären är elpris och råvarukostnader. Det finns möjligheter att minska känsligheten för elpriser, men det medför att utbytet i processen minskar där man nyttjar den så kallade "water gas shift" reaktionen för att producera den vätgas som behövs för att skapa rätt balans mellan CO och H₂ i FT.

Affären bärs helt och hållet av en produkt som säljs mot en marknad helt och hållet skapad och styrd av politiska styrmedel, biprodukterna nafta och LPG (liquid petroleum gas) har minimal påverkan av affären.

1.5.3 Sammanfattning av de två affärerna

Båda affärerna som är beskrivna bedöms ha potentiellt goda förutsättningar men ställer olika krav på en aktör eller en konsortiesammansättning. Båda affärerna nyttjar teknologier som är redo för kommersiella applikationer.

Förgasning och FT kan potentiellt producera SAF som klassas som elektrobränslen och därigenom potentiellt undvika konkurrens med existerande produkter på marknaden, som till exempel HEFA. Utifrån denna potentiella konkurrensfördel är det essentiellt med tillgång till billig el och affären blir sålunda påverkad av vad som händer på energimarknaden. Förgasning och FT kräver politiska styrmedel för att vara konkurrenskraftigt eftersom den är dyrare än existerande produkt.

Socketplattformen har möjlighet att diversifiera produktpaletten där huvudprodukten går mot en kemikaliemarknad och där SAF kan produceras som en sekundärprodukt vilket därigenom minskar den politiska riskexponeringen. Socketplattformen kommer inte kunna klassas som ett elektrobränsle och sekundärprodukten SAF kommer därför behöva konkurrera mot redan existerande alternativ på marknaden, som till exempel HEFA. För att denna affär ska välja SAF som sekundärprodukt krävs även här politiska styrmedel.

1.5.4 Hinder och förslag till att överbrygga dessa

Hindren för ett fossilfritt inrikesflyg och för en svensk tillverkning av SAF med biomassa som råvara är många. Här följer några av dessa:

- Den maximalt tillåtna volymen för inblandning av SAF i flygplan är endast 50 procent i dagsläget.
- Många tekniker är oprövade i fullskala och investeringskapital saknas.
- Tillgång till hållbar råvara.
 - Då det krävs stora investeringar för kommersialisering vågar ingen enskild aktör ta risken att bygga den första anläggningen.
 - Andra osäkerhetsfaktorer är policy och lagar på EU-nivå som påverkar tillgången av råvaran, till exempel bestämmelser om vilken biomassa som kan klassas som förnybar och mängden biomassa som får avverkas.
 - Långa handläggningstider för att få miljötillstånd.
 - Avsaknaden av långsiktiga inhemska politiska styrmedel.
- Idag är HEFA det bioflygbränsle som dominerar utbudet på marknaden (är den enda kommersiella produktionsväg som finns idag för produktion av SAF). Flera stora anläggningar byggs runt om i världen och även i Sverige förväntas produktionskapaciteten öka. Råvaran utgörs av vegetabiliska och animaliska oljor. Med fler anläggningar kommer efterfrågan att växa samtidigt som utbudet är begränsat. Det är även konkurrens om råvaran med produktion av biodrivmedel till vägtransportsektorn.
 - Ett annat problem som framkommit är att aktörer som söker råvara för tillverkning av SAF inte alltid har kunskap om andra branscher som söker råvara för att ersätta fossil råvara. Kemiindustrin står exempelvis inför en gigantisk omställning och har för vissa komponenter en avsevärt högre betalningsförmåga för den skogliga biomassan än drivmedelsproducenter.
 - Föreställningen om att det finns billig outnyttjad råvara i norra Sverige har framkommit i olika sammanhang. Detta verkar grunda sig i att det i dagsläget tillvaratas så små mängder av den grot som faller ut vid avverkning i norra Sverige. Att detta beror på rådande prisbild och tillgång på alternativa råvaror och att groten alltså är "för dyr" verkar komma som en överraskning för vissa aktörer. De flesta anläggningar har även planerat för användning av grot – ett sortiment som kan komma att klassas som icke förnybart om revideringen av förnybarhetsdirektivet går igenom enligt EU-parlamentets position.

En industriell produktionsanläggning av SAF kommer uppskattningsvis att kräva investeringar på mellan 3–5 miljarder kronor. För att realisera detta ges följande förslag till strategier och åtgärder för ökad inhemsk produktion av SAF:

- I likhet med den fossila totalaffären är det troligt att SAF andelen utgör en liten del i den totala paletten av produkter från skoglig råvara. Därför bör politiska styrmedel beakta totalaffären inte bara enskilda produkter och marknader.
- Staten kan underlätta för en ökad inhemsk produktion av SAF på flera sätt;
 - Tillgängliggöra industriella investeringsstöd för de första anläggningarna med oprövad teknik i stor skala. Investeringsstöden bör vara komplementära till befintliga stöd från EU till exempel Innovation fund och lån från EIB (Europeiska investeringsbanken).
 - Införa en inhemsk avancerad kvot av SAF.
 - Skapa riktade offentliga upphandlingar med långsiktiga off-take avtal av SAF baserade på skoglig biomassa.
 - Driva på elektrifiering av vägtransportsektorn, vilket kommer att frigöra råvara för produktion av SAF.
 - Stimulera samarbeten över branschgränser genom riktade stöd till gränsöverskridande samarbeten.
 - Beskriva det hållbara skogsbruket och användningen av skoglig biomassa och verka för ökad acceptans på EU-nivå.
 - Verka för att uppnå stabilitet på hur skoglig biomassa får produceras samt användas.

Ordlista

Batteridrivet elflyg

| Förkortning/term | Förklaring |
|--|---|
| Batterielektriskt flygplan/ batteridrivet elflygplan | Förtydliggörande till läsaren: I denna rapport används växelvis termerna "batterielektriskt flygplan" och "batteridrivet elflygplan". Detta avser ett flygplan vars elektriska motor drivs av ett batterilager som förser denna med ström. |
| Jet-A1 | Konventionellt eller vanligt flygbränsle. Den vanligaste typ av flygbränsle att använda för kommersiella jetplan. |
| Pax | Förkortning för passager, t.ex. antal passagerarsäten som ett flygplan har. |
| NM | Nautiska mil. Nautiska mil används ofta istället för kilometer inom flygbranschen (1 NM = 1.852 km). |
| Turn around | Turn around syftar på den s.k. turn around processen vilket är vad som sker med ett konventionellt flygplan från och med att det landar på en flygplats tills att det är redo att lyfta igen. Processen innefattar bland annat avstigning av passagerar och bagage, städning, tankgång, påstigning av nya passagerare och bagage osv. |
| Energieffektivitet | Energieffektivitet är förhållandet mellan den användbara effekten av ett energisystem och insatsen, i energitermer, exempelvis den energi som ett flygplan kan få ut av den energikälla som används, oavsett om det är bränsle eller elektricitet. |
| Nätleverantör | De företag som äger, driver och utvecklar region- och lokalnäten och transporterar elen från en elproducent till kund. Nätleverantörer producerar inte el. |
| Mottagningsstation | En station som tar emot el från ett överliggande nät och distribuerar det vidare inom flygplatsen. |
| Apron-yta | Asfalterade ytor på flygplatsen där flygplan oftast är uppställda eller invid terminalbyggnaden där flygplatsen markfordon även vistas. |
| Taxibanor | "Vägar" som nyttjas av flygplan för att transportera sig själva mellan uppställningsytorna och rullbanan för start och landning. |
| Safety och Security | På flygplatsen finns två viktiga säkerhetsbegrepp: Security (luftfartsskydd) och Safety (flygsäkerhet). Security är skydd mot brottsliga handlingar och Safety är skydd mot flygrelaterade olyckor. |
| Radorådet | För att skydda radiosystem och annan utrustning på Swedavias flygplatser finns så kallade Radio-rådet som bevakar de system som finns idag och hur radiomiljön påverkas av eventuella förändringar. |



Batteridrivet elflyg

1 Introduktion

Ett elektriskt flygplan är ett plan som drivs av elmotorer och kan vara antingen helt elektriskt eller hybridelektriskt. Två huvudtyper av energilagringsteknik för elektriska flygplan är batterielektrisk och vätgasbränsle-cellelektrisk. Fördelen med elmotorer framför förbränningsmotorer är att de är mer effektiva då de bara förlorar en bråkdel av sin potentiella energi vilket betyder att ett elektriskt flygplan kan flyga med mer än 90 procent potentiell energiöverföring till axeln i drivlinan. En annan fördel är mindre underhåll då en elektrisk drivlina har färre rörliga delar som slits under drift jämfört med en fossilbränslemotor. På kort sikt är det inte helt säkert att dessa fördelar kommer operatören till godo då de först måste verifieras i kommersiell drift under ett antal år. Det finns också andra variabler som ska tas med som elflygplanens högre inköpspris, begränsad flexibilitet i användningen, kostnaden för elenergin och den infrastruktur som behövs för att ladda och hantera planerna.

Försök med att bygga eldrivna flygfarkoster har gjorts under en längre tid och redan år 1917 byggdes en eldriven helikopter (PKZ-1), dock med elförsörjning från markkablar. Ett förnyat intresse för batterielektriskt flyg uppkom under 1970-talet när nickel-kadmium batterier började användas

och år 1973 flögs det första batteridrivna elflygplanet (Militky-Brditschka MB-E1).¹ Det första kommersiellt tillgängliga elflygplanet kom 1997 och var ett glidflygplan: Alisport Silent Club med endast ett mindre batterilager på 1,4 kWh. Utvecklingen har under 2000-talet fortsatt i rask takt tack vare förbättrad batteriteknik drivet av viljan/målsättningen att kunna flyga med låg klimatpåverkan, vilket har lett till kommersialiseringen av ett flertal mindre två-sitsiga elflygplan. Tyvärr lider fortfarande dessa flygplan av korta räckvidder och låg nyttolast till följd av dagens batteriers låga energitäthet. Men nya framsteg inom batteriers energitäthet tillsammans med användningen av nya lättare material i flygplanskroppen, kommer att erbjuda nya möjligheter och en utökad användning av batteridrivet elflyg i framtiden.

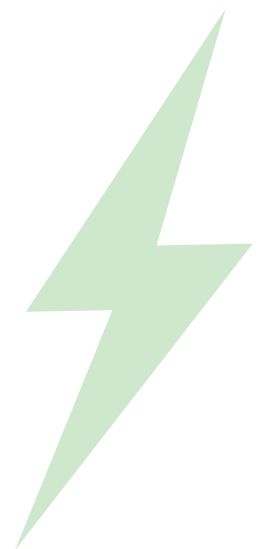
Elflygsutvecklingen går idag snabbt framåt och med löften om lägre ljudnivåer, lägre driftskostnader och lägre koldioxid-utsläpp kan det bli en av flera lösningar som leder till ett mer hållbart flyg. Men det förutsätter att den el som används också kommer från fossilfria källor.

En del av de prestanda som indikerats för elflygplanen initialt har efter hand skruvats ned. Både Heart Aerospace och Eviation har minskat sina räckvidder. Heart Aerospace vill bygga in ett elverk i flygplanet för att kunna klara kraven på reserver och på så sätt undvika att flyga med extra och tunga batterireserver som sällan kommer att användas.² Men nya batterier är under utveckling med upp till 500 Wh/kg på cellnivå, vilket kan ge bättre möjligheter att driva flygplan med enbart batterier i framtiden.³ Flera större flygbolag har därför visat intresse och gjort fasta beställningar på batteridrivna elflygplan. Man planerar för att ersätta existerande korta rutter med elflygplan eller öppna nya linjer tack vare elflygplanets förväntade lägre drift- och underhållskostnader.⁴

De elflyg som drivs med bränslecellsteknik har också kommit upp i luften, det är framför allt ZeroAvia och H2FLY som bedriver tester. MagniX, som förser många elflyg med elektriska drivlinor, har tagit fram ett system där man använder vätgastank och bränslecell i stället för batterier som energilagring. Båda systemen är intressanta och kommer att utvecklas parallellt. Kapplöpningen pågår för att certifiera modellerna och få ut dem på marknaden. Denna kapplöpning har enligt utredningen av en olycka med ett Piperplan, varit en av orsakerna till att man under hård tidspress genomfört testflygningar.⁵

Det finns inga snabba, enkla lösningar för att kunna driva de lite större planen med elektrisk drivlina ännu, varför de även fortsättningsvis under de närmaste tio åren troligtvis kommer att drivas med fossilt Jet A1 samt en växande blandning av biodrivmedel och e-bränslen.

I följande rapportdel fördjupas endast det batteridrivna elflygplanet och dess konsekvenser på flygplatsen, dess verksamhet och dess infrastruktur utifrån den framtida potentiella trafikeringen i regionen. För djupare analyser av bränslecellsdrivna elflygplan på flygplatsen refereras läsaren till analysen om vätgasdrivna flygplan i en annan del av handlingsplanen.



¹ AiR-e. air-e.nl. <http://air-e.nl/announcement/first-manned-electric-aircraft-militky-mb-e1/> Läst 2022-12-06

² Nasa. Nasa.gov. <https://www.nasa.gov/aeroresearch/nasa-solid-state-battery-research-exceeds-initial-goals-draws-interest> Läst 2022-12-05

³ Kvarkenrådet. Kvarken.org. https://www.kvarken.org/wp-content/uploads/2021/06/Electric_aviation_2021_technology_overview.pdf Läst 2022-12-05

⁴ Travel Radar. Travelradar.aero. <https://travelradar.aero/united-airlines-plan-electric-planes-for-short-flights/> Läst: 2022-12-05

⁵ Simpleflying. Simpleflying.com. <https://simpleflying.com/zeroavia-hydrogen-plane-crash-cause/> Läst: 2022-12-05

1.1 Utmaningar och möjligheter

Att använda batterier för att driva ett flygplan innebär både utmaningar och möjligheter. Den stora utmaningen är associerad med batteriets låga energidensitet. Idag används huvudsakligen Litium-jon batterier med en energitätet på som mest cirka 260 till 270 Wh/kg på cellnivå. Teknologiska framsteg görs kontinuerligt och så kallade "solid-state" batterier är under utveckling, med en energitätet som förväntas vara upp till 2,5 gånger högre än dagens batterier.⁶ Det innebär dessvärre endast knappt 6 procent av den energi som finns i konventionellt Jet-A1 flygbränsle för samma vikt (ca 11 000 Wh/kg). På grund av denna låga energitätet blir elflygets räckvidd kännbart begränsad i relation till flygplan som använder sig av Jet-A1 eller av vätgas med ännu högre energitätet på cirka 33 000 Wh/kg (utförligare information finns att läsa i delrapporten om vätgasflyg).

Men batteridrivet elflygplan har flera möjligheter, dels är energi-effektiviteten mycket hög i relation till andra energislag som kan nyttjas, och dels är drift- och underhållskostnaderna lägre än konventionella flygplan drivna med jetmotorer eller turbopropeller. Å andra sidan kan nya kostnader tillkomma i form av ny elinfrastruktur på flygplatserna eller förstärkningar i elnätet, vilket bör beaktas i de beräkningar som görs samt i de samtal som förs mellan flygplatsoperatörer, flygoperatör och flygplanskonstruktörer.^{7,8} Den totala kostnadsbilden för elflyget kommer därför starkt att påverkas av de lokala möjligheterna på flygplatserna, så som elpriser, tillgänglig el-kapacitet i nätet samt de ombyggen eller tillbyggen som kan behövas på och utanför flygplatsen.

Den tid det tar att ladda ett plan beror på många parametrar, batteriets storlek, ladd-möjligheten på flygplatsen, vilken nivå som batteriet (state of charge, "soc") har när man börjar ladda, hur mycket man vill fylla på, temperaturen på batteriet och batteriets styrning samt kemi. Det beror också mycket på den rutt som planet ska köra under dagen. Det finns ruttberäkningar gjorda med ett 19 pax plan, och för att klara laddning på 20–30 minuter så behövs det en laddkapacitet på mellan 700 och 1 200 kW. Då förutsätts att batteriet är tempererat och att man börjar ladda på nivån 40 procent soc upp till 80 procent soc och startar varje flygdag med 100 procent soc.⁹ Framtida batteridrivna elflygplan med högre batterikapacitet kommer att kräva högre effektuttag om en laddning ska göras inom samma tidsram.

1.2 Omvärldsbevakning

1.2.1 Batteridrivet elektriskt flyg

Det slovenska företaget Pipistrel utvecklar elektriska flygplan och idag är Pipistrel Velis Electro världens första elektriska flygplan avsett för flygträning. Den har en flygtid på 1 timme plus en 30 minuters reserv vilket ger cirka 138 km kryssningsräckvidd. Elmotorn ger drygt 60 kW i effekt och väger 20 kg. Batteripaketet på 21 kWh kan antingen bytas ut på några minuter eller laddas på mindre än en timme. Flygplanet är certifierat i enlighet med Federal Aviation Administration's (FAA) bestämmelser. Pipistrel Velis Electro blev i juni 2020 även världens första EASA-typcertifierade elektriska flygplan.¹⁰ Det är helt godkänt för pilotutbildning. Velis Electro

⁶ Flash Battery. Flashbattery.tech. <https://www.flashbattery.tech/en/how-solid-state-batteries-work/#:~:text=Accordingto20percent20the20la-test20studies,aprocent20lighterprocent20andprocent20smallerprocent20battery>. Läst: 2022-12-05

⁷ Heart Aerospace. Heartaerospace.com <https://heartaerospace.com/fag/>. Läst: 2022-11-28

⁸ Shahwan, Kawthar. (2021). "Operating Cost Analysis of Electric Aircraft on Regional Routes" <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1631695/FULLTEXT01.pdf>. Läst: 2022-12-04

⁹ Kvarkenrådet. Kvarken.org. https://www.kvarken.org/wp-content/uploads/2022/06/FAIR_Regional_Rapport_FINAL-VERSION.pdf. Läst 2022-12-08

¹⁰ Pipistrel. Pipistrel-aircraft.com. <https://www.pipistrel-aircraft.com/products/general-aviation/velis-electro/>. Läst 2022-12-05

har en helt vätskekyld drivlina, inklusive batterierna och kan anses vara nästa generations teknik som möjliggör ungefär en fördubbling av drivlinans livslängd. Den kommersiella räckvidden är cirka 100 km eller 50 minuter.

Pure flight är ett tjeckiskt företag som har utvecklat det elektriska flygplanet Phoenix eller ΦNIX. Dess första flygning var 2018, och flygplanet är certifierat i enlighet med ELSA-reglerna (Experimental Light-Sport Aircraft). Tvåsitsflygplanet drivs av ett 60 kW batteri och flygräckvidden är 2,5 timmar. Under 2019 genomförde företaget vinterklimattestflygningar i norra Sverige.

Bye Aerospace är ett amerikanskt företag beläget i Denver. De började 2014 att utveckla eFlyer 2 och eFlyer 4. eFlyer 2 kommer att användas för pilotutbildning och är utrustad med 90 kW elektrisk effekt. eFlyer 2 hade sin första testflygning 2018, och målet var att det skulle bli FAA- och EASA-certifierat under 2021. Detta har dock skjutits fram till slutet av 2022 eller till början av 2023. Flygräckvidden är tre timmar. eFlyer 4 siktar på flygtaxi, frakt och avancerad utbildning.

I april 2021 tillkännagav Bye Aerospace den åttasitsiga eFlyer 800. Detta elflygplan kommer att utrustas med två vingmonterade elmotorer. eFlyer 800 ska drivas av solid state litium-svavelbatterier som utvecklats av Oxis Energy, en brittisk startup. Effekten som behövs i battericellerna är 550 kWh/kg. eFlyer 800 kommer att ha en maximal räckvidd på 930 km vid en marschhastighet på 520 km/h. Enligt Bye Aerospace kommer driftskostnaderna att vara en femtedel av konventionella flygplan med dubbla turboprop. En marknadsintroduktion är planerad till mellan 2024 och 2026.

MagniX är ett företag som grundades i Australien 2009 och som nu är beläget i Seattle. De skapar elektriska motorer utformade för att ersätta konventionella motorer. Den elektriska motorn magni250 producerar 375 hästkrafter (280 kW) för mindre flygplan, som till det nio-sitsiga flygplanet Eviation Alice. Magni500 är en elmotor på 750 hästkrafter (560 kW) designad för att passa i modeller som de Havilland Beaver, Cessna Caravan och Beechcraft King Air. MagniX elmotorer har en beräknad livslängd på cirka 30 000 timmar, vilket är betydligt längre jämfört med konventionella motorer som används idag.

2019 gjorde Havilland Beaver, eftermonterad med magni500-systemet, sin första flygning i Vancouver, Kanada. Den drivs av Harbour Air och är avsedd för korta flygningar (30 minuter plus 30 minuter back-up) till de närliggande byarna från Vancouver. Den första 30-minuters testflygningen med ett turbopropflygplan, niositsiga MagniX:s 208B Cessna Grand Caravan, ägde rum 2020 i samarbete med AeroTec. Flygplanet var utrustat med magni500-motorn. MagniX satsar nu även på eldrivlina med bränslecell och vätedrift som de testar både själva och tillsammans med ZeroAvia.

Mako Aerospace en startup från Scotland som har tagit fram en elektrisk jetmotor som ska klara 600 km flygning.¹¹ De hävdar att de siktar på att bygga "framdrivningssystem som möjliggör en användbar räckvidd med dagens batteriteknik."

Motorn har en effekt på 1 058 kW och cruisingeffekt på 486 kW, mycket

¹¹ Mako Aerospace. Mako-aerospace.com. <https://mako-aerospace.com/mako-aerospace-demo-day-2022/> Läst: 2022-12-05

låg vikt och hög framdrivningseffektivitet. De utgår från jetmotor-konceptet och plockar in det senaste inom elteknik och menar att de har en elektrisk jetmotor med hög effekt, låg vikt och hög effektivitet. De har inga ambitioner på att bygga elflygplan utan ser sig liksom MagniX som eldrivlinjeleverantör.

Heart Aerospace är en svensk startup som i början satsade på att utveckla ett 19-sits elektriskt flygplan, Heart ES-19. Dess räckvidd uppgavs vara 400 km. Flygplanet var avsett att utrustas med 4 motorer på 400 kW vardera, vilket innebär en total effekt på cirka 1 600 kW. Motorerna skulle drivas av 4 batterier på 180 kWh. Planet skulle kunna använda korta landningsbanor, 750 m, och fokuserade på regionalt resande. De har nu ändrat inriktning och satsar på ett större flygplan ES-30. Planet ska ta 30 passagerare och ha en el-räckvidd på 200 km och med en hybridlösning klara 400 km och med 25 passagerare klara 800 km. Den har liksom ES-19 4 elmotorer men också en turbogenerator i reserv som drivs av Jet-A1 eller motsvarande hållbara bränsle. Den klarar en flyghöjd på 20 000 fot och kräver en banlängd på 1 100 m. De avser att bygga en fabrik i Göteborg. Saab har gått in som delägare och underleverantör. De har flera investerare, bland andra Breakthrough Energy Ventures, EQT Ventures, European Investment Council, Lower Carbon Capital, Mesa Air Group, United Airlines Ventures och Air Canada. De har också fått order från Mesa AIR, Air Canada, Sevenair, BRA, Icelandair m.fl.

Eviation har sitt ursprung i Israel och utvecklar det elektriska flygplanet Alice som numera är baserat i Washington st. Alice är ett niositsigt plan (plus 2 besättning) med en räckvidd på 463 km + 30 minuter reserv. Det har en marschhastighet på 480 km/h och ett Li-ion-batteri på 820 kWh. Flygplanet kommer att använda två elmotorer från MagniX på 700 kW styck. Provflygning har nyligen genomförts och det kan bli det första elflygplanet med mer än två platser som blir certifierat.

Amerikanska Cape Air kommer att inkludera Alice i deras 92-plansflotta, Deutsche post har köpt 12 plan, de har även sålt 20 plan till NTAS i Australien och GlobalX har beställt 50 plan.¹² De planerar leveranser från 2027. Målet är att bli EASA- och FAA-certifierad 2022.

2 Hållbarhetsaspekter och samhälls-ekonomiska förutsättningar och effekt

2.1 Klimatpåverkan från batteridrivet elflyg

En stor anledning till att använda batteridrivna elflygplan är att reducera flygets klimatpåverkan. Användning av fossilfri elektricitet i ett flygplan orsakar inga direkta lokala CO₂-utsläpp. Det finns dock andra aspekter som måste tas hänsyn till för att bedöma klimatpåverkan som helhet. Flygplanets livscykelanalys måste beaktas, vilket påverkas av energibehoven för produktionen av de olika flygplanskomponenterna, och särskilt för batteriet. Enligt en studie produceras mellan 61 och 106 kilo koldioxidkivalent för varje kWh som ett batteri kan lagra, och denna skillnad beror på den elmix som används vid olika produktionskedan.¹³ Nuvarande föreslagna batterielektriska flygplan har en batterikapacitet runt 900 kWh, vilket betyder att 55 till 95 ton koldioxid släpps ut vid tillverkningen av

¹² Simpleflying. Simpleflying.com. <https://simpleflying.com/evia-aero-eviation-alice-order/> Läst: 2022-12-05

¹³ Emilsson Erik, Dahllöf Lisbeth. (2019). "Lithium-Ion Vehicle Battery Production". ivl.se. <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf> Läst 2022-11-05

batteriet. Detta kan jämföras med förbränningen av 1 ton Jet A1 vilket avger 3,16 ton koldioxid. Till detta bör även tilläggas utsläpp vid tillverkning och transport av bränslet, vilket enligt tillgänglig information bidrar till att ytterligare cirka 30 procent koldioxid skapas under processen, vilket då ger 4,1 ton koldioxid per ton tillverkad och förbränd Jet A1. Det kan emellertid reduceras vid användning av fossilfri elmix eller fordonsbränsle.^{14,15} Observera också att denna beräkning visar endast mängden koldioxid, inte andra potentiella växthusgaser vid tillverkning eller förbränning översatta till koldioxidekvivalenter.

Batteriets livscykel är även viktigt att beakta, och regelverket kommer att ställa långtgående krav på tillräcklig räckvidd för alternativ flygplats eller för att kunna cirkulera innan möjlighet till landning finns. Batterierna förväntas behöva bytas ut efter cirka 1 000 cykler, även om forskningen gör kontinuerliga framsteg för att förbättra detta.¹⁶

Sveriges elproduktionsmix genererar även cirka 13 gram koldioxid per kWh el.¹⁷ Många länder, även i Europa, kan ibland ha en elproduktionsmix som genererar uppemot 1 000 gram per kWh. Detta visar på betydelsen att räkna in alla beståndsdelar, från livscykelanalysen till elproduktionsutsläpp, för att kunna jämföra batteridrivna elflygplan med andra typer av flygplan.

2.1.1 Jämförelse av elflyg och Jet-A1 flygplan

Denna studie har inte som ambitionen att ta fram egna beräkningar gällande livscykelanalyser för elflygplan jämfört med nuvarande flygplan. I ett kandidatexamensarbete från KTH har skillnaden mellan flygplansmodellen Eviation Alice och Super King Air 200 eller Fokker 50 beräknats för tre olika rutter under ett år. Den beräknade minskningen i klimatpåverkan varierar mellan 83,6 procent till 93,2 procent beroende på vald rutt och flygplanstyp.¹⁸

En stor andel av elflygplanets klimatpåverkan beror dock på batteriet och dess livscykel. Produktionen av batterierna har stor klimatpåverkan och ju oftare dessa måste bytas ju större påverkan blir det på den totala livscykeln. Kan antalet cyklar som ett batteri laddas utan att nämnvärt försämra dess kapacitet kommer den totala klimatpåverkan under elflygplanets livscykel att kraftigt förbättras.

En ytterligare viktig faktor att belysa är användningen av fossilfri el i beräkningarna. En liknande uträkning har gjorts med en europeisk elproduktionsmix, med större klimatpåverkan per kWh, vilket då endast visade vinster på 12 procent till 27 procent jämfört med "traditionella" flygplan med förbränningsmotorer och fossilt bränsle.¹⁹

2.2 Energipolitik och samhällsekonomi

Att i högre grad kunna nyttja batteridrivna elflygplan kommer att kräva ombyggen och nyinvesteringar i elinfrastrukturen och även till viss del i elproduktionsanläggningar. I Sverige användes 88 terawattimmar (TWh) energi

¹⁴ Sierra. "Hey Mr. Green! How much CO₂ is generated by producing and transporting a gallon of gas?". Sierraclub.org <https://www.sierraclub.org/sierra/ask-mr-green/hey-mr-green-how-much-co2-generated-producing-and-transporting-gallon-gas> Läst: 2022-11-25

¹⁵ Innovation origins. "Producing gasoline and diesel emits more CO₂ than we thought" innovationorigins.com <https://innovationorigins.com/en/producing-gasoline-and-diesel-emits-more-co2-than-we-thought/> Läst: 2022-11-22

¹⁶ Heart Aerospace. Heartaerospace.com <https://heartaerospace.com/faq/> Läst: 2022-11-28

¹⁷ Vattenfall. "EPD ger förutsättning för klimatneutralitet". energyplaza.vattenfall.se. <https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/epd-ger-forutsattning-for-klimatneutralitet> Läst: 2022-11-22

¹⁸ Lundahl Joel, Lindqvist, Pontus. (2020). "Livscykeljämförelse av klimatpåverkan från elektriskt och fossilbränsledrivna flygplan på tre svenska inrikesrutter". <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1438056/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-11-22

¹⁹ Dung D. Nguyen , Utku Kale , Agnes Wanjiku Wangai, (2020) "Total Life Cycle Cost and Emission of Electric, Hybrid-electric aircraft." https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0635_paper.pdf Läst: 2022-11-22

i transportsektorn år 2019, där inrikes luftfart utgjorde 2,3 procent av denna konsumtion, eller cirka 2 TWh. Den totala energianvändningen av Sverige år 2019 var 378 TWh, varav 126 TWh utgjordes av elenergi.^{20,21} Inrikesflygets del utgjorde därmed endast drygt 0,6 procent av Sveriges energianvändning.

Vid ett fiktivt scenario där elflyget ersätter all inrikestrafik och då behöver samma energimängd som användes år 2019 (2 TWh) kommer elproduktionen i Sverige endast marginellt att behöva öka med drygt 2,5 TWh årligen, med höjd taget för förluster i elnätet, dock utan hänsyn taget till batteridrivna elflygplans högre energieffektivitet. Det ska jämföras med den årliga elproduktionen som ligger på drygt 150 TWh. Detta scenario påverkar således endast marginellt Sveriges elenergianvändning.

Att utgå från att all inrikestrafik med flygplan ersätts av elflyget är dock högst osannolikt då de flygrutter som finns i dagsläget endast i mindre grad kan ersättas av dessa flygplan, främst på grund av dess kortare räckvidd men också dess lägre passagerarkapacitet. Nya flygrutter, både inrikes och utrikes, kan dock komma att skapas tack vare nya affärsmodeller med elflyget (se kapitel 5, Framtidsscenario).

Däremot kan de effektbehov som ställs på elnätet vid laddning av flera samtidiga elflyg bli problematiska. Affärsmodellerna för nya flygplan är uppbyggda på att flygplanet befinner sig i luften så ofta som möjligt, med endast korta stunder nere på marken, den så kallade "turn around" tiden. Detta ställer krav på en snabb laddning av batterierna, vilket bidrar till höga effektbehov. Vid turn around tider i paritet med befintliga mindre flygplan kan effektbehov på nära 2 megawatt (MW) per flygplan vara möjliga, vilket motsvarar den normala genomsnittliga effektförbrukningen för nästan ett tusen vanliga hushåll (20 000 kWh/år per hushåll eller ett genomsnittligt effektbehov på 2,3 kW).²²

Fördjupningar måste därför göras gällande möjligheter att lagra energi för att parera för effekttoppar i systemet samt inom smarta elnät eller inom andra åtgärder som möjliggör en prioritering eller minskning av de effekttoppar som kan ske vid den fortsatta elektrifieringen av samhället, inte minst av flygbranschen.

3 Elinfrastruktur

3.1 Introduktion

Att möjliggöra hantering av batteridrivna flygplan på en flygplats innebär konsekvenser för flygplatsens infrastruktur, och då särskilt för elinfrastrukturen. Utökad eleffektbehov vid laddning, placering av nya elkablar, förändringar och byten av ställverk, val av laddningssystem med mera kommer därför att påverka flygplatsernas markanvändningsplaner. De långa ledtider som oftast gäller från idéstudie till färdigställande av en åtgärd på en flygplats innebär också att lösningar för framtida behov måste tas fram flera år i förväg, i synnerhet åtgärder som påverkar ytor som nyttjas av flygplan.

Dessvärre befinner sig elflyget fortfarande i en tidig fas och standarder för infrastrukturen kopplat till batteridrivna elflygplan har ännu inte

²⁰ Energimyndigheten. (2022) "En översikt över energiläget i Sverige" energimyndigheten.se <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/en-over-sikt-over-energilaget-i-sverige/> Läst: 2022-11-22

²¹ Energimyndighetens statistikdatabas. Energimyndigheten.se. <http://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/?rxid=2c91707b-7c5e-405b-b132-3aa-c75a4a172> Läst 2022-11-22

²² Statistikmyndigheten (SCB). Scb.se. <https://scb.se> Läst 2022-11-22

färdigutvecklats. Detta gäller främst för laddningsutrustningar och de effektbehov de kräver. De största laddningssystemen på marknaden för singelanslutning är idag på cirka 350 kW och används främst inom fordonsindustrin. Framtidens batteridrivna elflygplan kräver dock högre laddningseffekt. Inom den tunga fordonsindustrin pågår utveckling av laddningssystem med hög effekt, så kallade Mega Charging System (MCS), som kan erbjuda effekter på upp till 3,2 MW.²³ Ett arbete med att ta fram en standardiserad tillvägagångsmetod för flygplan som stödjer sig på MCS-tekniken är därför under fördjupning.

Tidigare utvecklade standarder och kunskap finns emellertid för övriga delar av elinfrastrukturen som ej är direkt kopplad till laddningen av flygplanet. Denna måste dock anpassas till de nya behov som ställs, och olika vägval kan finnas för att säkerställa korrekt kapacitet i elnätet, även under de höga effektbehov som förväntas i framtiden.

3.2 Försörjning av el till flygplatsen

3.2.1 Elnätsbolagets leverans till Umeå Flygplats

Umeå Energi är nätägare och ansvarar för driften av elnätet i hela Umeå-regionen, leveransen till Umeå Flygplats sker med spänningen 11 kV. Effektbehoven från batteridrivna elflygplan kommer att ställa krav på det externa elnätet. För att tillgodose behovet av MW laddning så behöver förstärkning göras till flygplatsen.

3.2.2 Energilager

Ett komplement till nätförstärkning är energilager med batterier som kan användas som effektreserv för att kapa effekttoppar och jämna ut energituttaget över dygnet. Flygplatsens uttag är lägre nattetid och det finns då möjlighet att ladda upp ett energilager för att använda den lagrade energin vid ett senare tillfälle. Det finns också möjlighet att sälja stödtjänster till Svenska Kraftnät. Prisläget för energilager med batterier och utrustning är fortfarande högt och en studie behöver göras för att påvisa lönsamheten i jämförelse med att förstärka elnätet eller att begränsa effektuttaget vid höglast. Ett energilager kan kopplas in antingen vid uppställningsplatsen för laddning eller i nätanslutningen.

Ett typiskt system för energilagring består av batterier, transformator, likriktare, växelriktare och kontrollsystem. Ett vanligt utförande är att utrustningen placeras i en container.

Nätbolaget Umeå Energi kan inte installera energilager på grund av regelverket för elnätsbolag, vilket kräver att flygplatsen eller en annan aktör bör ansvara för installationen, driften och underhållet av denna.

3.2.3 Elproduktion på flygplatsen

Produktion av el lokalt på flygplatsen kan göras med solceller. Solceller kommer att minska flygplatsens behov av att köpa energi, men har ingen påverkan på effektbehovet.

Vid installation av solceller måste hänsyn tas till störningsnivåer och avstånd till flygteknisk utrustning. Tester och kontrollmätningar utförs inom

²³ CharIN. Charin.global. <https://www.charin.global/technology/mcs/> Läst 2022-12-06

Swedavia i syfte att göra det möjligt att utföra installationer i närhet av känslig utrustning.

3.2.4 Infrastruktur vid elflygplanens uppställningsplats

Utformningen av uppställningsplatsen är beroende på vilken typ av laddsystem som väljs och hur hög laddeffekten ska vara. Vid de högre effekterna kommer kablage och anslutningsdon att vara tunga och hjälpmedel för hantering kommer att behövas vid uppställningsplatsen.

3.2.4.1 Laddutrustning för flygplan

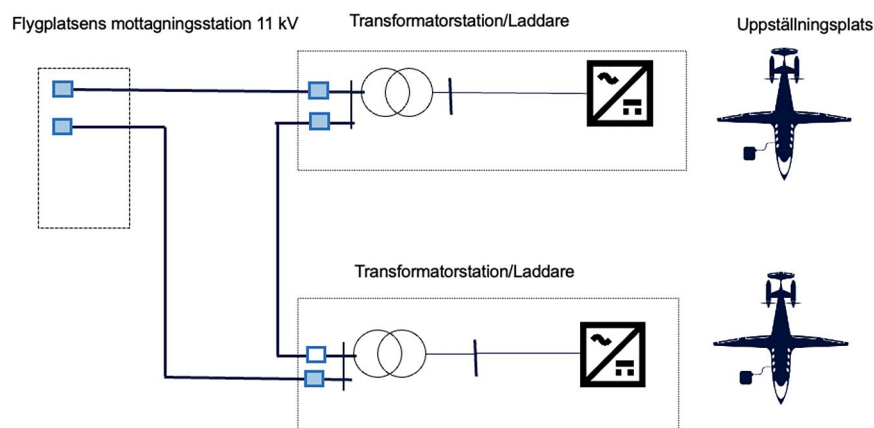
Flygbranschen jobbar aktivt för en standardisering av utformning av anslutningsdon med mera. För en effektiv turn around process behöver laddningen ske inom en kortare tid, vilket ställer krav på laddningseffekter som överstiger 1 MW. Samtidigt bör laddutrustningen inte ta stora ytor i anspråk, då det redan idag ofta är ansträngt ytmässigt vid uppställningsplatserna.

Fasta laddsystem

Fasta laddsystem vid uppställningsplats består av transformator och laddare med styrsystem för att optimera laddningen.

Ett förenklat exempel på uppställningsplats med fast laddutrustning visas här nedan. Varje plats har högspänningsanslutning med ställverk, transformator och laddutrustning. Det totala effektbehovet behöver även ta höjd för två samtidigt laddande flygplan.

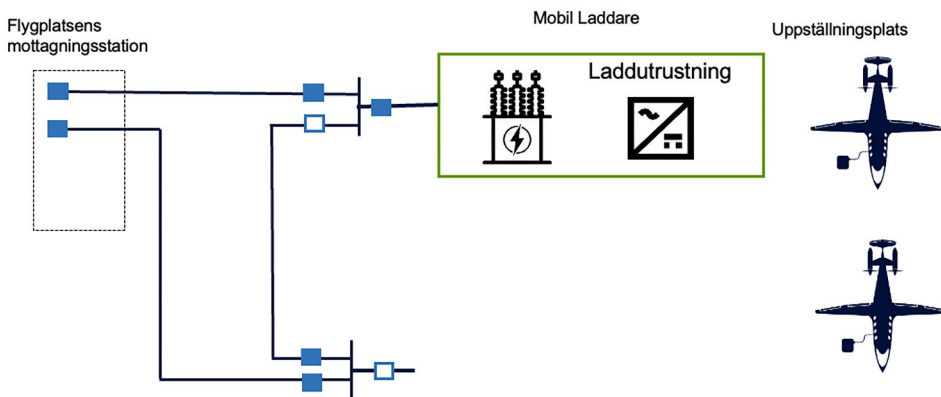
Figur 1: Schematisk skiss på en fast laddningspunkt



Mobila laddsystem

Ett mobilt laddsystem kan ersätta laddutrustning på uppställningsplatsen. Det mobila laddsystemet består av transformator och laddare uppbyggda på lastbil/container som kan flyttas mellan olika uppställningsplatser. En nätanslutning måste då finnas vid uppställningsplatsen, men endast ett flygplan kan laddas åt gången, vilket sänker det totala effektbehovet.

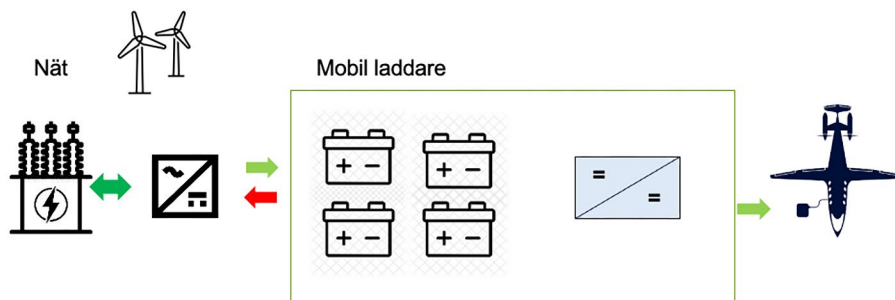
Figur 2: Schematisk bild på en mobil laddutrustning som kopplas till fast nätanslutning



Mobila laddsystem med inbyggt energilager

Det mobila systemet kan även innehålla batterier och laddutrustning som då är uppbyggda på lastbil/container och får då fungera som "tankbil". Uppställningsplatsen blir då inte beroende av nätanslutning. Batterierna kan då laddas när uttaget från flygplatsen är lågt. Ett utvecklingsområde är att använda det mobila laddsystemet som energilager.

Figur 3: Schematisk bild på en mobil laddsystem med inbyggt energilager



Laddning med hjälp av befintlig elinfrastruktur på uppställningsplatserna

Laddning på befintliga uppställningsplatser är möjlig med installation av laddare. Laddning kan då ske med 100 - 150 kW, vilket motsvarar en laddningstid på cirka 10 timmar för att nå 1 MWh. Laddningen är inte anpassad för snabb turn around, men det kan vara ett alternativ för laddning vid ett längre stopp.

3.3 Övrig infrastruktur som kan påverkas av ökad flygtrafik

I samband med nya flyglinjer och ökad flygtrafik kan även övriga delar av flygplatsen behöva ses över. Detta är bland annat nya ytor för uppställning av flygplan, tidigareläggning av nya taxivägar på flygplatsen samt förändringar eller utökningar av terminalbyggnaderna. I de långsiktiga planerna som flygplatser tar fram fördjupas olika åtgärder som kan komma att behövas vid en ökad flygtrafik och passagerartrafik. Slutsatserna är applicerbara även i samband med ökad trafik på grund av att nya elflyglinjer trafikeras till och från flygplatsen.

4 Riskhantering vid implementering av batteridrivet elflyg

Inom projektet fördjupades även riskerna associerade med hanteringen av ett batteridrivet elflygplan på flygplatsen. Fokus låg främst på Safety och Security. Flera experter från den flygoperativa processen deltog på en workshop och de slutsatser som togs fram sammanfattades i en risklista. Det visade sig att många risker inte skiljde sig från övriga flygplan som hanteras idag och bedömdes som hanterbara, och även nya risker kopplat till elflyget bedömdes av mindre påverkan eller betydelse för flygplatsen och marktjänstpersonalen.

Experterna noterade dock flera risker av betydelse, antingen på grund av att dessa har en hög sannolikhet att inträffa, eller att de medför allvarliga konsekvenser om de skulle inträffa. Dessa risker beskrivs utförligare här nedan.

Uppdateringen av övergripande regelverk saknas

Vi kan konstatera att det i nuläget finns många stora osäkerheter i hur safety-regler kan komma att hanteras i trafik av batteribaserade elflyg. Inga flygplan idag är certifierade för passagerartrafik, vilket i sin tur innebär att Transportstyrelsen EU139-14 för Aerodroms inte kan uppdateras. Regelutveckling EASA EPAS 2026 kommer antagligen innehålla regler specifika för elflyg. Arbetet har påbörjats men inga tydliga direktiv finns i nuläget.

Säkerhets- och icke-säkerhetskontrollerade passagerare

Passagerare med olika security-status har pekats ut som en stor riskfaktor i arbetet som har bedrivits. Passagerare som anländer med flyg, som storleksmässigt understiger kravet på security kontroll får inte blandas med ordinarie passagerare på airside. De definieras då som så kallade "smutsiga" passagerare. Då dessa inte får blandas uppstår krav på en separat process för passagerare som anländer med elflygplan. Detta i sin tur kan innebära ökade kostnader i förändring av infrastruktur, manuell hantering och/eller ökade transporter av passagerare och gods.

Brandskyddsregelverk

En annan risk som har ansetts vara stor är att elflygplan har andra instruktioner för räddning och släckning vid haveri. Detta innebär att elflygplan (batteridrift) kommer att ha helt skilda rutiner för räddningstjänst. Lagar, regler och övning måste uppdateras i god tid innan flighter med passagerare kan ske. Antagligen behöver alla flygplatser uppgraderas då man behöver ha beredskap för oplanerade landningar. Detta kommer att behöva planeras lång tid innan och kommer att kräva investeringar både i utbildning och utrustning.

2 kap 2 § från Lag (2003:778) om skydd mot olyckor om släckning av brand och för livräddning vid brand ställer långtgående krav på ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar om släckning vid brand, samt krav på att förebygga brand. Denna lag ställer därför nya krav på flygplatser som hanterar flygfarkoster med stora batterier. Dessa krav behöver dock förtydligas och fördjupas innan de kan tillämpas på flygplatser.

Påkörning av kablar

Laddning vid gate kommer även innebära risk för mekanisk skada på laddningskabel, till exempel påkörning, överhettning eller avslitning. Även om säkerhetslösningar i laddinfrastruktur förhindrar brand eller strömförande föremål kan denna typ av skada innebära logistiska störningar i form av förseningar. Beroende på vart på flygplanet laddpunkten finns kan laddkabeln vara mer eller mindre exponerad för skador. Redan idag är dock flygplanen anslutna till nätet via en strömförsörjningskabel under sitt markstopp, men då handlar det om lägre effekter och strömstyrka.

Elektromagnetisk strålning

Elektromagnetisk strålning är alltid en utmaning vid elinstallationer. Omvandling från växelström till likström via transformatorer med hög effekt innebär med största säkerhet hög elektromagnetisk strålning. Vi har i dialog med aktörer på marknaden frågat om EMC-klassning, men inte fått några klara besked.

Risk för att strålning från generatorer och likriktare överskrider Radiorådets krav på EMC typ 2 är överhängande. En effekt av detta är att flygplan inte kan ladda vid gate, vilket i sin tur innebär stora inskränkningar i affärsmodellen. Tydliga krav mot leverantörer av flygplan och infrastruktur måste vara en del av planering och upphandling.

Laddning med pågående off- och onboarding

För att effektivt kunna ladda ett elflyg inom ett tidsspänn på 30 minuter krävs laddningseffekter som överskrider 1 MW. Men för att turn around processen ska ha rimliga tidsfönster krävs att laddning kan ske när passagerare befinner sig i flygplanet. Dock är dessa regler ännu inte utarbetade vilket innebär att det finns en osäkerhet i den planering som sker med rutter och tidtabeller. Vid tankning av flygplan med passagerare i planet som sker idag, krävs en manuell övervakning under hela förloppet. Om samma regler skulle tillämpas på elflygplan kan vi räkna med ökade kostnader för markpersonalen på grund av att tiden för tankning under markstoppet bedöms som något längre i jämförelse med dagens procedur.

Tystare motorer

En safety-risk kopplat till tysta motorer har även noterats. Då elmotorer är väsentligt tystare än jet- och turboprop-motorer finns inga tydliga signaler på om flyget är aktivt eller inte, särskilt i en normal flygplatsmiljö med andra närliggande och bullriga pågående aktiviteter. Propellrar, rörelser och luftströmmar kan skada personer och utrustning. Projektet inväntar och följer regler från tillverkare vars dokumentation bör visa på hur denna risk ska minimeras.

4.1 Vägen framåt

Det är idag svårt att förutse hur de olika riskscenariona kommer utveckla sig framåt, då mycket beror på hur regler, regleringar och lagar framskrider. Dessa bör emellertid tas fram i samarbete mellan alla berörda parter, och inte minst med flygplatsoperatörer som måste ges möjlighet att påverka, i synnerhet när regelverket kan ha en stark påverkan på flygplatsernas tillkommande infrastruktur eller placering av denna.

Designkrav som påverkar våra regelverk ska harmoniseras av EASA. Om inte harmonisering kan ske innebär det regelförändringar från EASA vilket är kostnadsdrivande för flygplatser.

Regelutveckling EASA EPAS 2026 kommer antagligen innehålla krav specifika för elflyg, och flygplatsoperatörer liksom Swedavia behöver följa dessa nära för att ha en god prediktion för hur dessa kan påverka flygplatsers infrastruktur.

5 Framtidsscenario för batteridrivet flyg på Umeå Flygplats

5.1 Bakgrund – Swedavias långtidsprognos

Swedavias långtidsprognos uppdateras frekvent och baserar sig på en vedertagen metod som också används av andra flygplatser och av IATA och ICAO. Metoden utnyttjar det historiska sambandet mellan BNP-utveckling och efterfrågan på flygresor. För Swedavias flygplatser är detta samband starkt mellan efterfrågan på utrikes flygresor och på BNP. För utvecklingen av inrikesresor är sambandet mindre starkt och andra faktorer kan påverka denna efterfrågan, från minskade utbud till konkurrens från andra transportsätt eller från förändrade resmönster på grund av teknikutvecklingen.

Långtidsprognosen är dessutom relativt grovkornig och ger inte en inblick i det dagliga trafikmönstret per flygplats. Denna måste istället brytas ner till ett så kallat trafikprogram, som analyserar trender och föreslår möjliga trafikeringssmönster över veckan med olika flygplanstyper per respektive flygplats. Analysen som görs tar hänsyn till förändrade flygplanstyper, beläggningsgrader och förväntade framtida behov på flygplatsen utifrån dagens trafiksituation.

Varken långtidsprognosen eller det nerbrutna trafikprogrammet kan i högre grad ta i beaktande framtida externa påverkande faktorer som idag inte finns på flygplatsen eller i flygrummet. Det kan till exempel handla om krig och konflikter, pandemier, förändrade säkerhetsrutiner på flygplatserna, snabbt förändrade energipriser eller dylikt som kraftigt kan påverka efterfrågan på flygresor.

Nya flygplansmodeller så som batteridrivna elflygplan med förändrade affärsmöjligheter och nya linjer kan också starkt påverka antal resenärer och antal flygrörelser på en flygplats.

Den framtida markanvändningsplanen för Umeå Airport måste därför ta hänsyn både till långtidsprognosen samt till de osäkerheter som råder i denna. Särskilt viktigt är det att kunna göra tillräckligt goda kvalificerade gissningar inom områden som idag inte finns, men som snabbt förväntas påverka flygplatsen, exempelvis batteridrivna elflyg.

5.1.1 Räckvidd av ett batteridrivet elflygplan

Utifrån den omvärldsbevakning som har gjorts i kapitel 1.2 är det stor variation mellan olika modellers räckvidd. Den påverkas dessutom av väder

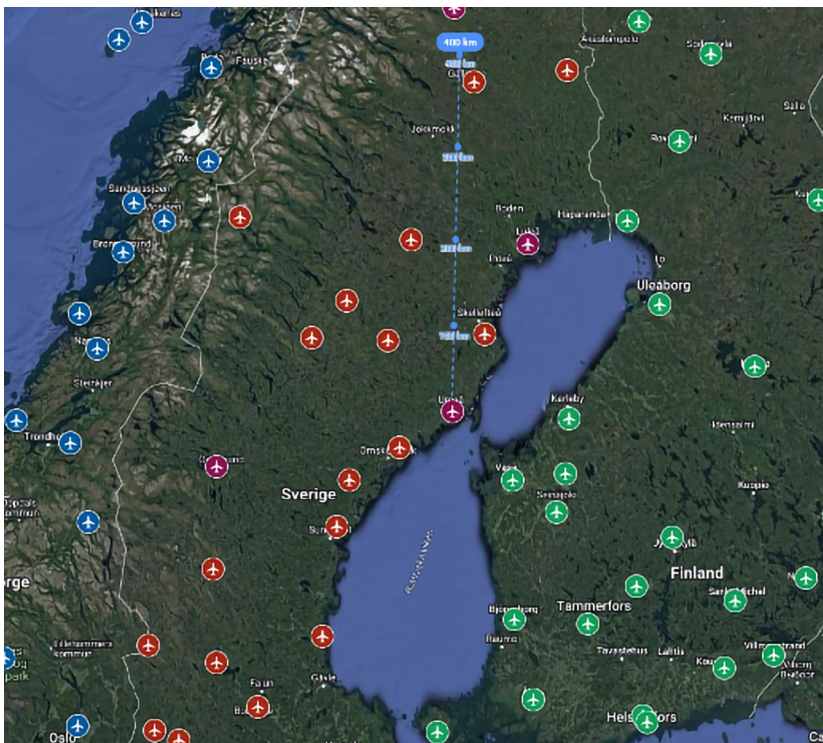
och vind samt av regelverk kring lägsta tillåtna batterireserver, men också av framsteg inom batteriteknik och flygplansdesign. Det är därför inte möjligt idag att ge ett korrekt estimat på de räckvidder som flygplanen kan förväntas erbjuda vid kommersiellt ibruktage, och med fortsatta teknikframsteg inom energitäthet och flygplansdesign förväntas räckvidden dessutom utökas.

Vi har därmed valt att använda 250 km som ett generellt riktmärke på ett sannolikt avstånd mellan två flygplatser som kan trafikeras av den första generation av batteridrivet elflyg, och utgår utifrån denna premis i våra scenarier, även om det förmodligen kan vara möjligt att flyga längre under vissa specifika omständigheter.

5.1.2 Aktiva flygplatser i närområdet till Umeå Airport

28 flygplatser är inom en 400 km radie från Umeå flygplats, och 13 av dessa ligger inom en 250 km radie där Örnsköldsviks flygplats är närmast belägen, cirka 75 km sydväst om Umeå.

Figur 4 Umeå Airport och aktiva närliggande flygplatser



5.2 Fördjupning av möjliga flyglinjer

Elflygets räckvidd tillåter för närvarande inte trafikering på merparten av rutterna från Umeå, och endast rutten mellan Umeå och Östersund samt mellan Umeå och Karleby/Jakobstad är anpassad utifrån räckvidd och passagerarbehov till nuvarande föreslagna elflygsmodeller. Batteridrivna elflyg kan däremot bidra till att förbättra tillgängligheten i regionen och tillförlitligheten i transportsystemet. Flera flygbolag har också börjat uttrycka viljan att trafikera kortare sträckor med elflyg i Norden när detta blir möjligt, vilket också kan utläsas av de avtal som har tecknats, bland annat av SAS²⁴ och BRA.²⁵

²⁴ SAS - Scandinavian Airlines. Sasgroup.net <https://www.sasgroup.net/newsroom/press-releases/2022/sas-signs-letter-of-support-with-heart-aerospace/> Läst: 2022-12-04

²⁵ Braathens Regional Airlines. Flygbra.se <https://press.flygbra.se/posts/pressreleases/bra-tecknar-nytt-avtal-med-heart-aerospace> Läst: 2022-12-04

Men för att kunna uppskatta nya möjliga flyglinjer måste behovet att flyga mellan olika tätorter utredas. Fysiska barriärer (berg, hav), alternativa transportsätt, tidsåtgång på flygplatsen och restider är faktorer som påverkar intresset av att skapa en ny flyglinje mellan två orter samt att möjliggöra en affärsmässighet på linjen.

I syfte att fördjupa de möjliga flygrutter som framtiden kan erbjuda hölls två olika workshoppar under projektets gång. Första workshopen utfördes den 14:e december 2021, där även externa parter från näringslivet, kommunen och Umeå universitet medverkade. En ny intern workshop hölls den 27:e april 2022 för att vidareutveckla de tankar som kom fram i december.

För att en linje ska kunna bära sig måste efterfrågan vara tillräcklig stor mellan tätorterna, och större tätorter har därför en naturlig fördel. Luleå, Vasa och Seinäjoki har exempelvis alla över 60 000 invånare vilket möjliggör ett större flöde av resenärer.

Ett uttalat behov av att resa mellan tätorterna är också viktigt för att upprätthålla en affärsmässighet på linjen. Behovet kan bland annat handla om affärsresor, turism eller sjukvård. Flyglinjerna kan också etableras för att kunna resa vidare mot Stockholm, Helsingfors eller till andra städer. Turism, särskilt vinterturism kan också innebära resor till och från fjällen, i detta fall till och från Hemavan.

Gemensamt för dessa linjer är att de med stor sannolikhet vill erbjuda möjligheten att kunna vistas över dagen i regionens större orter samt koppla till morgon- och kvällsflygen som går vidare mot Stockholm eller Helsingfors, vilket talar för att ett flertal elflygplan kommer att befinna sig på flygplatsen samtidigt och troligtvis även ladda samtidigt.

5.2.1 Jämförelse av restider

Elflyget kan erbjuda nya möjligheter, men konkurrerar också med andra transportslag. Detta är särskilt viktigt när resenären inte avser resa vidare via annat flygplan vid ankomst utan ska vistas i staden hen ankommer till (en så kallad point-to-point resa). Transfererande resenärer ställer andra krav på flygplatsen, men genomför oftast också en längre resa som ej konkurrerar med andra transportslag.

I projektet har vi därför valt att översiktligt jämföra restiderna för bilen, kollektivtrafiken och med det batteridrivna elflyget.

Genom att räkna fram restider från centrum till centrum mellan Umeå och andra orter och från centrum till närmaste flygplats för bil- och kollektivtrafik (buss och/eller tåg) kan restiderna jämföras med samma resa med ett batteridrivet elflygplan.

Tillvägagångssättet är enkelt, en jämförelse görs mellan en bil eller resa via kollektivtrafik mellan två punkter samt samma resa med flyg, där hänsyn tas till transporttiden till och från flygplatsen med bil eller med kollektivtrafik samt den tidsåtgång som behövs på flygplatsen innan planet lyfter eller efter att denna har landat, härafter kallad väntetid.

Några antaganden har gjorts:

- Hänsyn har ej tagits till befolkningens faktiska geografiska utspridning, och endast restider från centrumpunkter beräknas.
- Restiderna tar ej hänsyn till väntetider inför start av resan, men väntetider mellan byten under resans gång räknas in.
- Restider med kollektivtrafik tar ej hänsyn till hur frekvent kollektivtrafiken avgår till destination, även om det endast handlar om en daglig avgång.
- Snabbaste resa med kollektivtrafik används, oavsett hur sällan denna finns tillgänglig.
- Restiden med bil tar ej hänsyn till tidsförlust på grund av köer eller liknande.
- Innefattas transport med färja under resan tas dennas tidsåtgång med i beräkningen.
- Restider till och från flygplatserna med kollektivtrafik baseras även på flygbussar eller dylikt som ombesörjer flygplatsen i samband med inkommet flyg.
- Bussar som ska förbeställas inför ankomst räknas dock ej in (dessa kan sägas motsvara taxiverksamhet).

Utifrån restiderna har restidskvoten för marktrafik och flygtrafik beräknats. Vanligtvis räknas en restidskvot under 1,3 till 1,5 som mycket fördelaktigt för kollektivtrafiken i pendlingsavseende, det vill säga att om resan tar mindre än 50 procent mer tid med kollektivtrafik än med bil brukar pendlare i stället vilja välja detta färdmedel.^{26,27}

Utöver restiden påverkas även val av färdmedel av väntetiden under resan, som beror på turtätheten men också på tiden som uppstår mellan byten eller på flygplatsen. Väntetid viktas oftast till en upplevd tid två gånger högre än verklig tid.²⁸ Otrygga miljöer, miljöer utsatta för väder och vind samt om det är en fritidsresa påverkar viktningen till det högre ytterligare.²⁹ På grund av komplexiteten med att räkna fram dessa variationer på restiden har det inte gjorts, men det bör poängteras att dessa väntetider kan väga tungt vid val av färdmedel.

Med ovanstående i beaktande föreslås att bilresor som tar mindre än 50 procent mer tid (restidskvot under 1,5) än samma resa med flyg (samt bil eller kollektivtransfer till och från flygplatsen) anses vara intressanta, och konkurrerar ut flyget. Liknande förslag görs för resor gjorda med kollektivtrafik jämfört med flyg, även om detta kan anses något fördelaktigt för kollektivtrafiken, särskilt om dessa resor innefattar flera byten med tillhörande väntetider mellan byten.

I nedanstående tabeller visas antal och inom parentes andel intressanta flygplatser, det vill säga en markbunden resa som överstiger kvotvärdet 1,5. Tabellen tar hänsyn till olika flygplansmodellens hastighet men också till olika valda totala väntetider i flygplatserna. Endast de 13 flygplatser belägna mindre än 250 km från Umeå Airport har räknats in.

²⁶ Sundsvalls Kommun "Översiktsplan Sundsvall 2021". Sundsvall.se. <https://sundsvall.se/samhallsplanering-och-trafik/samhallsbyggnad-och-planering/oversiktsplan> Läst: 2022-12-04

²⁷ Västra Götalandsregionen. "Västra Götalandsregionens trafikförsörjningsprogram". vregion.se. <https://www.vregion.se/kollektivtrafik/sa-styrs-kollektivtrafik/trafikforsorjningsprogrammet/> Läst: 2022-12-04

²⁸ Trafikverket. (2012). "Kol-TRAST, Planeringshandbok för en attraktiv och effektiv kollektivtrafik" https://bransch.trafikverket.se/contentassets/4455944109084c3a9271d17f2b4c43fe/kol_trast.pdf Läst: 2022-12-04

²⁹ Sjöstrand, Helena. (2001). "Passenger assessments of quality in local public transport- measurement, variability and planning implications." <https://lup.lub.lu.se/search/files/4715936/744337.pdf> Läst: 2022-12-04

Tabell 1: Antal och andel elflyglinjer med restider som anses intressanta jämfört med samma resa med bil.

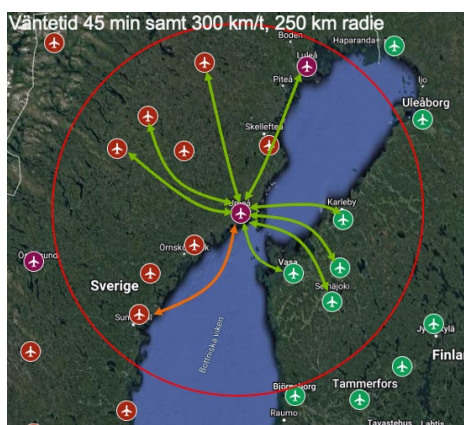
| Total väntetid | 45 min | 60 min | 75 min | 90 min | 120 min |
|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 222 km/t | 6 (46procent) | 4 (31procent) | 4 (31procent) | 4 (31procent) | 4 (31procent) |
| 300 km/t | 9 (69procent) | 6 (46procent) | 4 (31procent) | 4 (31procent) | 4 (31procent) |
| 407 km/t | 10 (77procent) | 8 (62procent) | 6 (46procent) | 4 (31procent) | 4 (31procent) |

Tabell 2: Antal och andel elflyglinjer med restider som anses intressanta jämfört med samma resa med markbaserad kollektivtrafik (järnväg, buss samt färja).

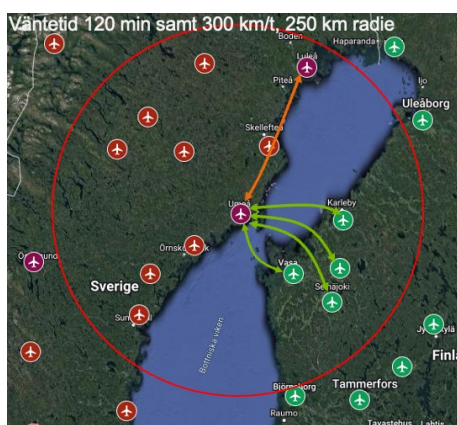
| Total väntetid | 45 min | 60 min | 75 min | 90 min | 120 min |
|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 222 km/t | 8 (62procent) | 8 (62procent) | 7 (54procent) | 6 (46procent) | 4 (31procent) |
| 300 km/t | 9 (69procent) | 8 (62procent) | 7 (54procent) | 7 (54procent) | 5 (38procent) |
| 407 km/t | 10 (77procent) | 8 (62procent) | 8 (62procent) | 7 (54procent) | 6 (46procent) |

Resan till och från flygplatserna sker dock med bil i samtliga fall. Att jämföra en resa som utförs med kollektivtrafik till och från flygplatsen och samma resa med bil eller kollektivtrafik från centrum till centrum är tyvärr missvisande då det idag saknas kollektivtrafik till flera av de regionala flygplatserna, i hög grad på grund av ringa eller ingen kommersiell flygtrafik som drivs från flygplatsen eller företag med arbetsplatser på området.

Figur 5: Möjliga flygrutter med restidsfördel över markbundet trafikslag med en total väntetid på 45 minuter.



Figur 6: Möjliga flygrutter med restidsfördel över markbundet trafikslag med en total väntetid på 120 minuter.



I ovanstående tabeller och kartor kan det utläsas att en stor påverkande faktor för elflygets restid är den totala väntetiden på flygplatserna. Denna kan variera mycket, beroende på flygplatsen och på de säkerhetsåtgärder som tillämpas inför resan, och särskilt till antalet säten på flygplanet som indirekt styr kravet på security kontroll före avgång. Denna totala väntetid har ökat sedan 1990-talet då den låg på cirka 50 minuter på den avgående flygplatsen.³⁰ Idag är det däremot inte ovanligt att anlända drygt två timmar eller mer innan avgång för att ta höjd för diverse köer vid de olika momenten på en flygplats.

Uträkningen visar att vid en hög total väntetid är främst rutter över fysiska barriärer, Östersjön i detta fall, intressanta ur ett tidsperspektiv. Rutten Umeå-Luleå är även fortsatt intressant jämfört med samma resa med kollektivtrafiken, på grund av i dagsläget bristande effektiv järnvägstrafik, men ej jämfört med bil och visas därför i orange färg.

³⁰ Coleman, Peter. (2006). "Shopping Environments" (ISBN 9780750660013). Routledge

För att kunna konkurrera mot andra transportslag bör därför den totala väntetiden på flygplatserna förkortas.

Även resan med kollektivtrafik till och från flygplatsen måste förbättras och effektiviseras, då denna förlänger den totala restiden. I det underlag som togs fram kan denna vara upp till fyra gånger mer tidskrävande än samma resa med bil. För Umeå Airport är denna dock endast cirka 14 minuter, och liknande resa med bil tar 9 minuter.

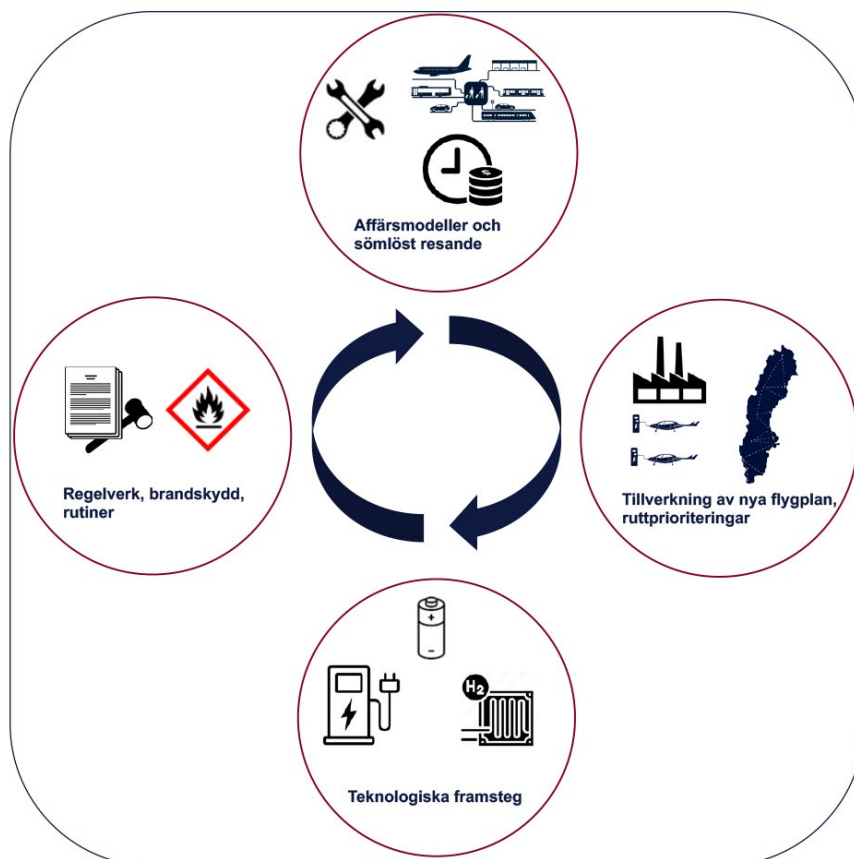
Flygplatsernas placering i relation till tätorten spelar även roll, och påverkar restiden till och från flygplatsen mer eller mindre positivt från tätorternas centrumpunkter. Denna parameter är dock av naturliga skäl svår att förändra.

5.3 Scenarioarbete för batteridrivet elflyg

Scenarioarbetet för elflyget påverkas av flera olika faktorer, bland annat:

- Närhet till andra flygplatser.
- Konkurrens från andra resesätt.
- Räckvidd och kapacitet av det batteridrivna elflyget.
- Produktionstakten av elflygplan.
- Affärsmodeller för elflyget.
- Tillgänglig och planerad elinfrastruktur på flygplatserna.
- Teknologiska framsteg inom batterikapacitet och flygplansdesign.

Figur 7: Faktorer som påverkar scenarioarbete



Flera av ovanstående faktorer påverkar också varandra positivt eller negativt, vilket gör scenarioarbetet desto mera komplext.

5.3.1 Scenarioarbete för flygplatsen

Det saknas för närvarande tillräckligt detaljerad kunskap för att med säkerhet kunna peka ut linjer som är intressanta för resenärerna och som är affärsmässigt hållbara. Faktorer som påverkar en persons vilja att resa är bland annat: resekostnader, tillförlitligheten av transportsystemet, säkerhet, tidsaspekter samt flexibilitet. Dessa faktorer väger dessutom olika beroende på resenärens syfte med resan, där affärsresor prioriterar tillförlitlighet i trafiken och tidsaspekten medan andra resenärer kan värdera låga resekostnader avsevärt högre än tidsaspekten eller tillförlitligheten.

För flygplatsens framtida planering är behovet att förstå antalet batteridrivna elflygplan som landar och startar från flygplatsen större än att ta fram ett framtida linjenät. Processen med att planera framtidens flygplats påbörjas oftast med framtagandet av ett trafikprogram, som i sin tur baseras på långsiktiga prognoser för flygtrafiken och resenärsutvecklingen.

Detta trafikprogram visar en fiktiv framtida normalvecka för flygplatsen med de olika avgångar och ankomster som förväntas och de olika flygplanstyper som används. Olika dimensionerande värden kan läsas ut från trafikprogrammet, från maximala antalet samtidiga flygplan på plattan till antalet resenärer i terminalen eller bland annat fordons parkeringsbehov för resenärerna.

I arbetet med att anpassa flygplatsen för batteridrivna elflyg är två parametrar avgörande att förstå för vidare utveckling av flygplatsen:

- Antalet samtidiga elflygplan som önskar ladda med tillhörande maximala laddbehov.
- Tidpunkten då dessa flygplan avser ankomma eller avgå från flygplatsen, och sambandet med andra planerade avgångar eller ankomster.

Ovanstående parametrar har stor påverkan på den infrastruktur som krävs på flygplatsen, från generella åtgärder som apron-ytor, behovet av taxibanor och terminalyta till mera specifika åtgärder inom eltillförsel och elinfrastruktur.

Det batteridrivna elflyget befinner sig dessvärre fortfarande i ett tidigt skede och inga långsiktiga prognoser för Umeå Airport har ännu tagits fram. Därmed finns inte heller något trafikprogram att utgå från.

För att kringgå ovanstående problem arbetas som alternativ olika scenarion fram. Scenarion baseras på flera principer:

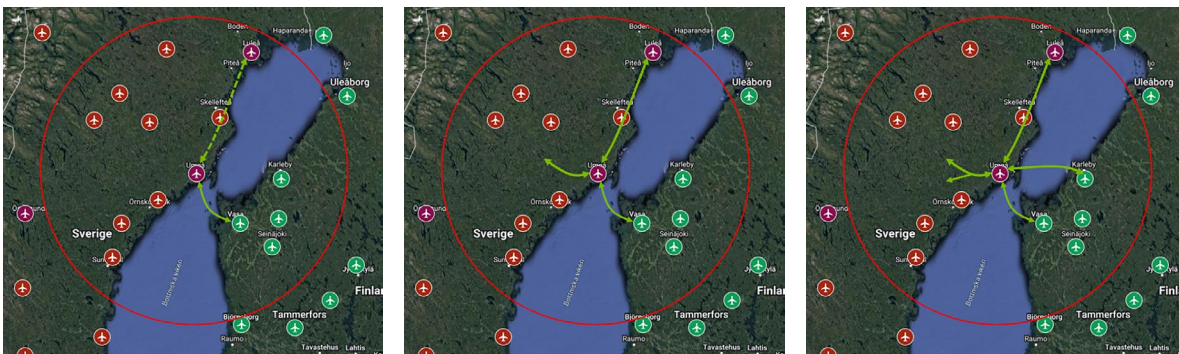
- De första kommersiella batteridrivna elflygplanen förväntas tas i kommersiellt bruk strax innan år 2030.
- Produktionstakten kommer inte att kunna möta upp den efterfrågan som finns vilket betyder att endast ett fåtal rutter i ett första skede kan trafikeras i Norden. Nya rutter kommer successivt läggas till när nya flygplan finns tillgängliga.

- De rutter som förväntas trafikeras går över fysiska hinder, så som hav, berg eller områden med bristande effektiv marktrafikinfrastruktur.
- Elflyget förväntas inte försöka nämnvärt konkurrera med andra typer av färdmedel.
- Lägre drift- och underhållskostnader bidrar positivt till affärsmodeller och öppnar upp för linjer som idag inte är ekonomiskt intressanta.
- Utbyggnaden av elinfrastrukturen på flygplatsen går i takt med utrullningen av nya rutter.

5.3.2 Batteridrivet elflygplan – möjlig utveckling av flygplansnätet från Umeå Airport

I ett första skede antar vi att endast en eller eventuellt två rutter trafikeras med elflyget, i detta exempel Umeå – Vasa samt eventuellt Umeå – Luleå. Med större kunskap om affärsmöjligheterna och med flera tillgängliga elflygplan kan nätverket utökas med en rutt till en ort i inlandet (exempelvis Vilhelmina, Arvidsjaur eller Storuman). Successivt adderas nya linjer, till exempel över Kvarken till Karleby samt en möjlig koppling till Åre/Östersund Airport.

Figur 8: Förslag på scenario för en stegvis utveckling av linjenätet från Umeå Airport



I detta scenario visas endast de direktkopplingar som kan nå från Umeå, utan hänsyn tagit till om ett elflyg väljer att flyga vidare, en så kallad slingad linje. Scenariot väljer även att begränsa sig till fem direkta kopplingar med elflyg, vilket anses troligt i ett första skede för Umeå Airport och tillräckligt för att påbörja uppdateringen av flygplatsens markanvändningsplan. De valda destinationerna från Umeå är även dessa utvalda utifrån godtyckliga kriterier, och finns endast för att ge en representativ bild av en möjlig framtid för elflyget med utgång från Umeå.

5.3.2.1 Effektbehov utifrån valt scenario

I denna handlingsplan görs inga beräkningar kring energianvändning under flygningen, fokus ligger på flygplatsen och dess anpassning. Projektet tog därför stöd av ett projekt som pågick parallellt under första hälften av år 2022: MODELflyg, ett projekt drivet av RISE, för att simulera fram ett fiktivt elflygsnät med utgång från Umeå och dess konsekvenser på el-effektbehovet på flygplatsen.³¹

I samråd med projekt MODELflyg beräknades effektbehovet för fem fiktiva rutter fram från Umeå Airport till följande städer: Vilhelmina, Arvidsjaur, Luleå, Vaasa (Finland) och Östersund. Modellen använder sig

³¹ Alfreðsson, Hampus et al. (2022). "Infrastrukturmodellering för storskalig introduktion av elflyg och flygtrafikledning (MODELflyg)" <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1688604/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-12-04

av framtagna flygplansspecifikationer och batterikapacitet som liknar den tidigare ES-19 modellen från Heart Aerospace.

Vid schemaläggningen av elflyget var det en förutsättning att alla ankommande resenärer med elflyg skulle hinna med valfri avgång med flyget mot Stockholm-Arlanda. Och omvänt var en förutsättning att alla ankommande resenärer från Stockholm-Arlanda skulle hinna med valfri avgång med elflyg mot ovan beskrivna orter. Idag stänger flygbolagen sin incheckning av bagage cirka 30 minuter före avgång. Det innebär att passageraren bör anlända till flygplatsen cirka 15 minuter innan incheckningen av bagage stänger, för att vara säker på att uppfylla flygbolagens regler för incheckning av bagage. Det innebär omvänt att transferpassagerare anländande med flyg, bör anlända cirka 15 minuter innan incheckningen stänger – det vill säga cirka 45 minuter före avgång, för att klara flygbolagens incheckningstider. Just 45 minuter antogs därför vara rimlig tid för byte av flygplan, inklusive eventuell bagagehantering utifrån den praxis som flygbolagen använder idag. Vidare ansattes en separation mellan avgångar och ankomster på Umeå Airport till fem minuter.

Slutsatserna av rapporten visar att utifrån valt scenario är effektuttaget som mest cirka 1,3 MW vilket är väsentligt lägre än om fem samtidiga elflygplan av modeller ES-19 önskar ladda med kortast möjliga turn-around tid, vilket kan resultera i effektbehov som närmar sig 10 MW.

Det är dock viktigt att belysa att valda parametrar och inriktningar i modelleringen av effektbehovet i MODELflyg starkt kan skilja sig från framtida premisser och behov och höjd bör tas för andra trafikeringsmönster som kan påverka flygplatsens operativa planering och energibehov både till det högre och till det lägre. Vidare fördjupningar tillsammans med flygbranschen behövs för att förstå de behov som finns och de möjligheter som flygplatsen kan erbjuda samt de ekonomiska ramarna som finns tillgängliga.

6 Förslag till ändringar i markanvändningsplanen

Föregående kapitel om scenarion och effektbehov visar med tydlighet att de kapacitetsbehov som framtidens batteridrivna elflygplan ställer på en flygplats kan förändras utifrån trafikeringsmönster över dagen och utifrån de strategier som väljs av flygoperatörerna. Det är även sannolikt att nya rutter successivt rullas ut och att elflyget därför i början endast kommer att ha en mindre påverkan på flygplatsen. Flexibilitet krävs emellertid för den långsiktiga planeringen liksom möjlighet till snabb anpassning för att kunna hantera flera samtidiga elflygplan anses även vara av ytterst vikt.

6.1 Gällande masterplan

Masterplanen för Umeå Airport antogs i februari 2017 och är ett vägledande dokument som beskriver var och hur olika verksamheter på Swedavias flygplatser kan utvecklas på mycket lång sikt.³² En masterplan identifierar flygplatsområdets framtida behov samt visar visionärt hur flygplatserna kan möta dessa behov med fokus på rumslik utformning. Syftet med flygplatsens masterplan är att med utgångspunkt från regionens tillväxt-

³² Swedavia AB. Swedavia.com. <https://www.swedavia.com/globalassets/om-swedavia/roll-och-uppdrag/ume-mp-exec-ver-2017-02-22-liten-filstorlek.pdf>

Figur 9: Visionsbild på framtidens flygplats utifrån föreslagna åtgärder i masterplanen.



strategi beskriva hur flygplatsen ska kunna utvecklas till att omhänderta 1,6 miljoner resenärer. Planen beskriver översiktligt framtida markanvändning och flygplatsens succesiva utbyggnadsmöjligheter för de närmaste trettio åren. De förslag som presenteras i masterplanen är dock inte bindande utan utgör en del av en planeringsprocess som successivt detaljeras genom fördjupade utredningar och samverkan med andra aktörer.

De främsta åtgärderna som beskrivs i masterplanen handlar om förbättringar och utökningar av terminalbyggnaden samt förändringar och tillbyggen på Airside, exempelvis nya uppställningsplatser och behovet av en parallell taxibana. Tidpunkterna för de olika åtgärdsförslagen beror på kommande tillväxt i trafiken och i passagerarutvecklingen, men också på antal samtidiga aktiva flygplan på marken, vilket kan förändras utan hänsyn till trafik tillväxten.

6.2 Elflygets åtgärdsbehov på Umeå Airport

6.2.1 Umeå Airports nuvarande infrastruktur och nätkapacitet

Umeå Energi är nätägare och leverantör av elnät med spänningen 11 kV till Umeå flygplats.

Nuvarande effektuttag är 650 kW, men det finns möjlighet att öka effekten med befintliga ledningar upp till 1 500 kW.

I mottagningsstationen finns ett högspänningsfack ledigt för utmatning, högspänningsfacket är bestyckat med säkringsapparat och en anslutning till transformator 800 – 1 000 kVA bedöms möjlig.

6.2.2 Ökning av nätkapacitet till Umeå Airport

Umeå Energi har möjlighet att under 2023 kunna leverera upp till 2 000 kW med befintlig anslutning.

En förstärkning med ytterligare en till fyra kablar från Umeå Energis fördelningsstation till Umeå flygplats skulle ge en överföringsförmåga i steg om 2 800 kW upp till cirka 10 800 kW. Utförande och anslutningsavgift tas fram av Umeå Energi.

För en stor ökning av effekten behöver ett anslutningsärendet skapas hos Umeå Energi och offerter begäras in i god tid eftersom ledtiderna för att bygga ut elnätet kan vara långa och negativt påverka möjligheterna för elflyget.

6.2.3 Ökning av nätkapacitet på Umeå Airport

För att ta emot effekt utöver nuvarande anslutning kommer det att behövas ett nytt mottagningsställverk på Umeå flygplats. Nuvarande ställverk i mottagningsstationen börjar närma sig "end of life" och en förnyelse behöver utföras i närtid. Det finns inte möjlighet att ansluta förstärkningen för ytterligare effekt till befintligt mottagningsställverk. Hur och när det ska göras behöver utredas, men i princip så behöver en ombyggnad och förnyelse av nuvarande mottagningsstation göras. Ställverket dimensioneras för att ansluta ytterligare kablar från Umeå Energi och kompletteras med högspänningsfack för distribution till laddinfrastruktur för elflygplan. Distributionen för laddning till uppställningsplatserna fränkopplas vid reservkraftdrift.

En förstudie är även planerad av Umeå Airport.

6.2.4 Infrastruktur vid elflygplanets uppställningsplats

För att möjliggöra effektiva turn-around tider så korta som 30 minuter krävs höga effekter. För att överföra effekter på flera MW till uppställningsplatser/laddplatser så behövs högspänningskablage. Transformatorer och laddutrustning bör placeras så nära laddplatsen som möjligt. Platsbehovet påverkas av hur mycket effekt som ska installeras för ställverk, transformator och laddutrustning. Nuvarande riktvärde för 1 till 3 MW är en 40 fot container (vilket motsvarar 12,2 m i längd och 2,5 m i bredd).

Flygplatsens nuvarande infrastruktur för försörjning av uppställningsplatserna är anpassad för så kallade "ground power units" (GPU) och värmeaggregat med kapacitet för cirka 100-150 kW per plats.

6.2.5 Påverkan på elnätskostnaden

Umeå airport är effektkund (11 kV) hos Umeå Energi, ett ökat effektuttag påverkar elnätskostnaden med effektagift 396 000 kr/MW per år samt överföringsavgifter på 320 kr/MWh respektive 250 kr/MWh beroende på tidpunkt.

6.3 Förslag på placering av batteridrivet elflyg på Umeå Airport

Utifrån ovanstående underlag har ett första översiktligt förslag på placering av batteridrivet elflyg på Umeå Airport tagit fram. Detta har skett i samråd med experter på flygplatsen, men också utifrån de premisser som finns idag för utbyggnad av elinfrastrukturen samt utifrån de prioriteringar och inriktningar som Swedavia gemensamt har tagit fram för samtliga flygplatser. Omfattande fördjupningar kvarstår innan de första spadtagen kan tas, men de olika förslagen bottnar i väl underbyggd expertis samt ny kunskap inhämtad under projektets gång. Ytorna bör även planeras för att användas av flygplan med andra bränsletyper.

En tydlig prioritering, som också framgick i kapitel 5 om scenarioarbetet, är att det ska vara enkelt för resenärerna att resa med elflygplan, vilket

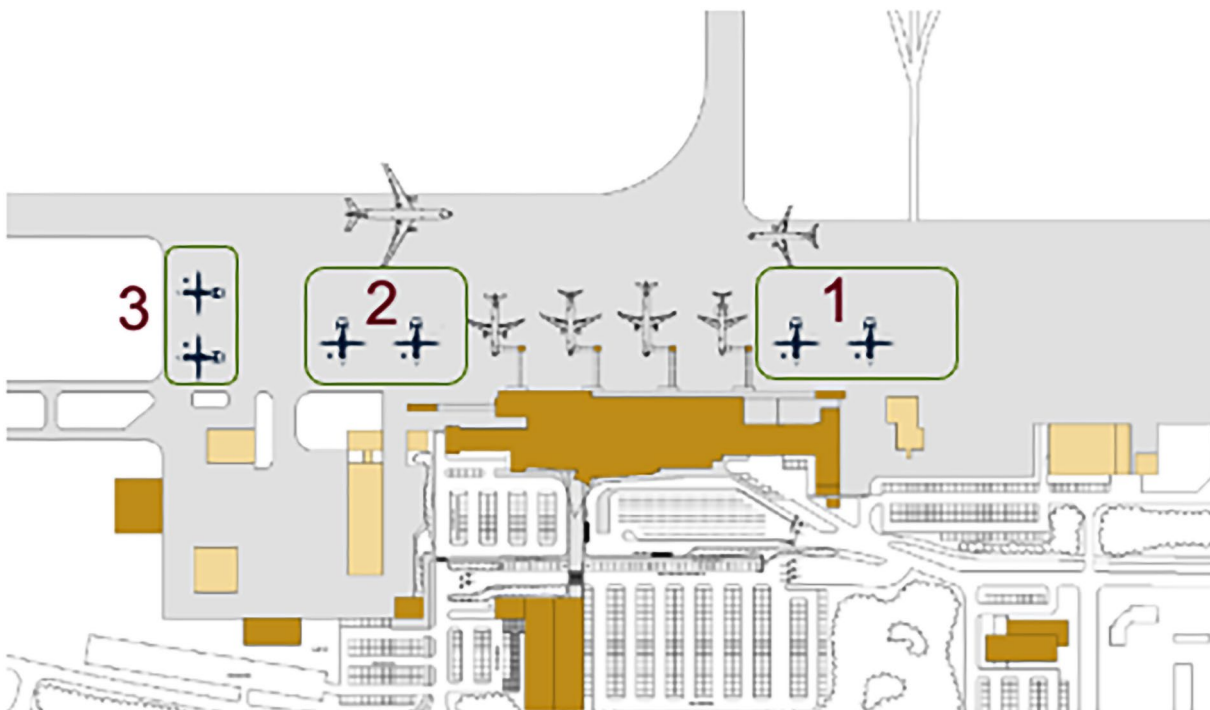
bör premiera uppställningsplatser med närhet till terminalen och med smidig passage till inväntande kollektivtrafik eller elbil på landsidan.

Elinfrastrukturen bör också beakta framtida nya utbyggnader av flygplatsen och åtgärdernas totala kostnad måste tas i beaktande.

Även säkerhetsaspekter måste vägas in, särskilt bedömningar om elektromagnetiska störningar eller andra aspekter som kan påverka instrument eller annan flygplatsutrustning negativt.

Övriga aspekter så som konflikter med andra flygplatsspecifika verksamheter, med andra flygplan på området, med separation av säkerhetskontrollerade och icke säkerhetskontrollerade människor, brandskyddsaspekter eller dylikt måste också beaktas.

Figur 10: Förslag på placering av batteridrivna elflygplan utifrån föreslagen markanvändningsplan.



I ovanstående förslag på markanvändningsplan, framtaget i samband med Umeå Airport's masterplan har tre ytor markerats som anses väl anpassade till placering av batteridrivna elflygplan. Dessa har dock olika fördelar och nackdelar.

Yta 1

Ytan är belägen nära dagens terminal, samt i direkt anslutning till en framtida pirutveckling enligt förslag från masterplanen. Resenärer kan därmed enkelt gå väderskyddad ut till landsidan eller till en ny gate för vidare färd mot en annan destination. Redan idag används ytan för uppställning av mindre kommersiella flygplan och därmed behövs endast elinfrastrukturen anpassas. Ett ställverk finns i närheten, dock kan dess kapacitet vara bristande och kan behöva bytas ut. Denna yta erbjuder även hög flexibilitet med möjlighet att utöka uppställningsplatserna västerut, dock då med längre gångavstånd till terminalen.

De nackdelar som har lyfts är främst kopplade till brandskyddsregelverket och om det inte har uppdaterats i tid, vilket då kan omöjliggöra placeringen av elflygplan med närhet till terminalkroppen eller andra flygplan. Även risker med elektromagnetiska störningar har noterats, särskilt då Umeå Airports remote tower är belägen strax norr om ytan. Mindre komplikationer vid hantering av okontrollerade resenärer har också tagits upp, och smärre ombyggen eller liknande kan komma att behövas för att säkerställa en säker separering när detta är nödvändigt.

Yta 2

Yta 2 delar många av yta 1:s fördelar, och är dessutom placerad längre ifrån flygplatsens remote tower. Det är även enklare att separera okontrollerade resenärer från övriga resenärer tack vare andra möjligheter i denna del av terminalen och på plattan.

Ytan har liknande nackdelar som den första ytan, och det kan även tilläggas att flexibiliteten för framtida utökningar kan försvåras av brist på yta i östlig riktning. Ytan tar även anspråk på uppställningsplatser som i masterplanen är planerade för större flygplanstyper och påverkar därmed kapaciteten negativt.

Yta 3

Denna yta ska ses som en reservyta, och har endast få fördelar där separationen mellan denna yta och terminalen samt andra flygplan är en av dessa, särskilt vid avsaknad av nytt brandskyddsregelverk. Ytan är även belägen närmare ett annat ställverk, vilket kan sänka kostnaden på de nyinvesteringar som krävs.

Ytans placering långt från terminalen påverkar resenärernas resa negativt, särskilt vid dåligt väder. Idag saknas även hårdgjord yta på större delar av ytan, och den är också svår att utöka i bredd då den är begränsad av en framtida taxibana och av annan verksamhet. Sammantaget kräver området kostsamma investeringar i nya asfalterade ytor för uppställningsplatser och taxibanor.

Sammanfattningsvis är både yta 1 och yta 2 intressanta för elflyget. Båda har ett flertal fördelar samt överkomliga nackdelar. Fortsatta fördjupningar krävs dock för att kunna besluta om den slutliga placeringen, eller om det finns möjlighet att nyttja båda ytor. De ytor som föreslås är även tillräckliga för att kunna hantera ett flertal samtidiga elflygplan, samt kunna erbjuda nattuppställningsplatser om det skulle behövas.

Figur 11: Visionsbild på framtidens terminalområde med förslag på placering av elflygplan på yta 1.
Källa: Swedavia/GisteråSjöstrand arkitektur AB.



Figur 12: Detaljbild på möjlig placering och utformning av framtidens laddutrustning invid framtidens elflygplan.
Källa: Swedavia/GisteråSjöstrand arkitektur AB.

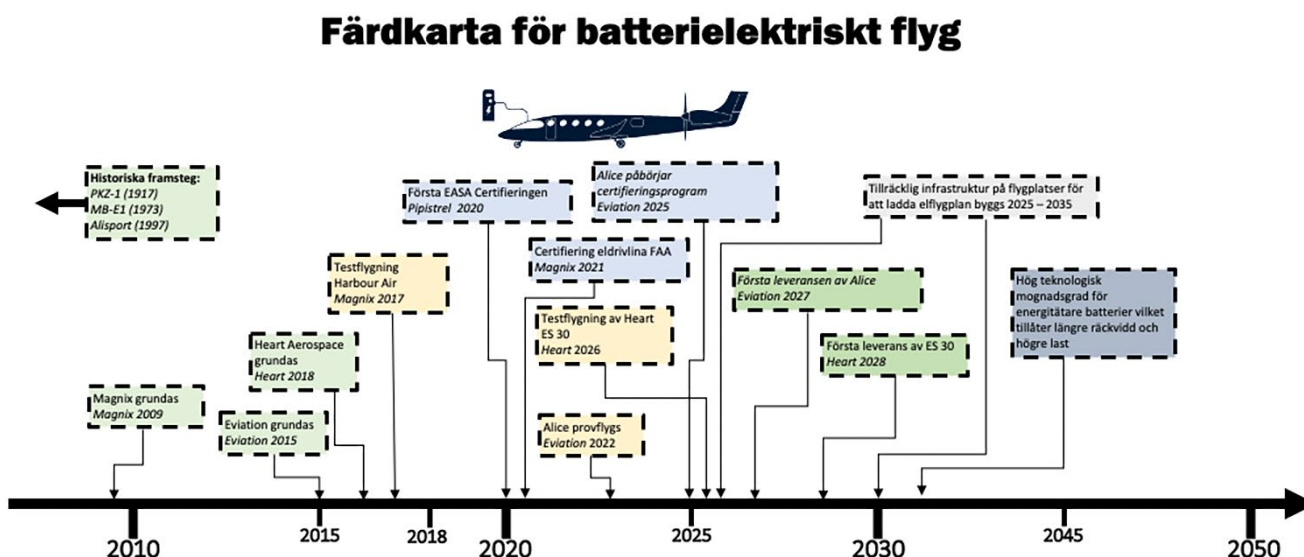


7 Diskussioner och slutsatser

7.1 Tidslinje för batterielektriskt flyg

Flera aktörer inom den internationella flygindustrin har uttryckt olika ambitioner för utvecklingen av batterielektriskt flyg. I bilden nedan sammanställs några av dessa ambitioner i en färdkarta för att visa en möjlig utveckling av batterielektriskt flyg inom de kommande 30 åren.

Figur 13: Tidslinje för batterielektriskt flyg



7.2 Utmaningar och hinder med att implementera batteridrivet elflyg på flygplatser

7.2.1 Utmaningar med att anpassa markinfrastrukturen

Att förbereda flygplatsen för batteridrivna elflyg kommer att kräva ny infrastruktur, förändringar vid hanteringen av flygplanet samt förändring i nya rutiner och uppdatering av flygplatsspecifikt regelverk. Utifrån slutsatserna från tidigare kapitel är det främst effektbehovet vid laddning av flygplanen som påverkar infrastrukturen på flygplatsen. Vid samtidigt laddande flygplan kan effektbehovet vara mycket högt och ställa krav på kostsamma ombyggen och tillbyggen av elnätet, utökning av dess kapacitet eller investering i energilagring i form av exempelvis batterier eller bränsleceller. Vi delar därför de slutsatser som Trafikanalys tagit fram om att flygplatser bör få stöd för att bygga markinfrastruktur för att kunna ladda elflygplan, i motsvarighet till nuvarande stöd för vätgasinfrastrukturen.³³

7.2.2 Utmaningar med att upphandla batteridrivna elflygstrafik

I Sverige upphandlas ett antal flyglinjer av Trafikverket, upphandlingen av flyglinjer sker enligt EU-regler och vilar på dessa två grunder:

- Liten påverkan på EU:s inre marknad balanserat med behovet av att lösa tillgängligheten där kommersiella förutsättningar saknas.
- Teknikneutralitet, man kan inte premiera en teknik framför en annan, eldrift eller elhybrider framför t.ex. biobränsle eller flygfotogen.

³³ Trafikanalys. (2022). "Styrmedel för luftfartens klimatomställning" https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_8-styrmedel-for-luftfartens-klimatomstallning.pdf Läst: 2022-12-05

Då hela regelverket baseras på ett EU-regelverk så är möjligheterna små för att Trafikverket ska kunna upphandla elflyg enligt trafikplikt. Däremot kan en elflygsoperatör delta i en upphandling och vinna upphandlingen, men det sker då utan fördelar för elflyget utan på helt egna meriter.

Om elflyget i framtiden visar sig vara ekonomiskt fördelaktigt att använda för en operatör så finns möjlighet att det kommer att användas på regionala upphandlade flyglinjer. Möjligheten finns då att en sådan operatör kan utvidga sin verksamhet med nya linjer som inte är upphandlade, men som ger ett bidrag till ekonomin för operatören och öppnar för nya linjer.

Upphandlade linjer

Dessa linjer upphandlas med trafikplikt från 2023–2027. Upphandlingen kommer att genomföras och annonseras under hösten 2022.

- Arvidsjaur – Arlanda
- Gällivare – Arlanda
- Hagfors - Arlanda
- Hemavan – Arlanda
- Lycksele – Arlanda
- Pajala – Luleå
- Sveg – Arlanda
- Torsby - Arlanda
- Vilhelmina – Arlanda
- Östersund – Umeå
- Kramfors – Arlanda
- Mora – Arlanda

Alla turer utom två går till Arlanda och det är de resultat som nås med nuvarande modell och de kriterier som används för upphandlat flyg. Linjerna kan komma att ändras på grund av ändrade kriterier eller Trafikverkets program reskoll eller andra förändringar som leder till att vissa rutter får en ökad vikt och samtidigt inte kan tillfredsställas med kommersiell trafik. Det är det geografiska tillgänglighetsbehovet mellan olika start- och målpunkter som värderas och man mäter hur lång tid det tar att resa mellan kommunernas huvudort till flygplatser, storstäder, högskolor och sjukhus. Kriterierna finns att ta del av i Trafikverkets rapport om upphandling av flygtrafik.³⁴

7.2.2.1 Miljökrav på upphandlad trafik

Trafikanalys har i sin rapport identifierat ett styrmedel som innebär att Trafikverket ska ställa krav på att den upphandlade trafiken är fossilfri. De menar att kraven om fossilfrihet skulle bidra till målet att minska flygtrafikens klimatpåverkan.

Trafikverket har tidigare utrett detta och deras analys är att de inte kan ställa sådana krav på drivmedel eller teknik. De hänvisar till EU-regelverket som säger att om inte tekniken är tillgänglig för alla så skulle det vara diskriminerande för den operatör som inte har efterfrågad teknik.³⁵

³⁴ Trafikverket. (2021) "Upphandling av flygtrafik från oktober 2023". Upphandling av flygtrafik från oktober 2023 – utredning inför beslut om allmän trafikplikt (diva-portal.org) Läst 2022-12-08

³⁵ Trafikverket. (2020). "Upphandling av fossilfritt flyg" <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1509692/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-12-05

³⁶ Trafikanalys. (2022). "Styrmedel för luftfartens klimatomställning" https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_8-styrmedel-for-luftfartens-klimatomstallning.pdf sid 71 Läst: 2022-12-05

Trafikanalys har i sin senaste rapport pekat på att ett styrmedel för det hållbara flyget är att utforma stödet till ett bidrag för inköp av flygplan, statliga lån med restvärdesgarantier eller att staten köper plan som ska användas i den upphandlade trafiken. Det kommer förmodligen att krävas mer utredningar för att utforma ett sådant stöd.³⁶

7.2.2.2 Behov av förändringar

De nya regionala linjerna som skulle kunna trafikeras av elflyg med kortare räckvidder och kunna bidra med att snabbt, säkert och enkelt nå platser där transportalternativen är få eller hindren och tidsvinsterna är stora, prioriteras inte av de kriterier och datamodeller som används idag, då kriterierna styr mot direkttrafik mellan kommuncentra och Arlanda. Att upphandla trafik inom regioner eller mellan närliggande regioner och våra grannländers närliggande regioner prioriteras inte. Det framtida regionala flyget kan utveckla resmöjligheterna och förändra flyget från att vara en nationell hub-modell till att resenärer kan åka interregionala point-to-point och undvika omvägar för att nå målet. De mindre flygplatserna får då en viktig roll för att stärka transportsystemet.

Trafikverkets kriterier och modeller bör ses över och de regionala upphandlingarna av transporter bör få inflytande över hur flygtrafik ska upphandlas. De regionala medel som idag används av kollektivtrafikmyndigheter för att upphandla tåg och busstrafik bör även tillsammans med de statliga medel som idag används för flygtrafik kunna kombineras för att regionens trafik ska utvecklas. Här är det viktigt att regionerna samverkar med grannregioner och grannregioner i Finland och Norge för att få till flyglinjer i ett Nordiskt PSO-system.

8 Rekommendationer

Baserat på den information som har insamlats och presenterats i denna rapport vill vi (författarna) lämna följande rekommendationer, riktade till beslutsfattare och aktörer inom flygbranschen, för att främja utvecklingen av batteridrivet flyg och den hållbara omställningen av flygindustrin.

- **Anpassa och utveckla regelverk för hantering av batteridrivna elflygplan på flygplatser**
Ett grundläggande krav för framgången av batteridrivet flyg är att den höga elkraften hanteras på ett säkert, effektivt och internationellt standardiserat sätt på flygplatsen. Men de regelverk som finns idag för hantering av bränsle och säkerhet på flygplatser är inte anpassade för den starkström som krävs i framtiden. Ur ett säkerhetsperspektiv finns det inga oöverkomliga hinder för att effektivt kunna ladda batterier på ett säkert vis inom flygbranschen. Berörda svenska myndigheter och aktörer inom flygbranschen bör engagera sig i initiativ som AZEA eller standardiseringsorgan för att gemensamt skapa dessa regelverk (Swedavia är medlem i AZEA sedan september 2022).
- **Förstå marknaden och planera för att flygplatser och/eller regioner ska få den energi de behöver**
En viktig slutsats från avsnitt 5.3 är att batteridrivna elflygplan kan komma att skapa nya linjer, och beroende på linjenätet och valt trafikeringmönster kan framtidens effektbehov skilja avsevärt. Även

relativt små flygplatser skulle kunna ha ett energibehov som är jämförbart med en mindre stadsdel. Att kunna planera för framtidens effektbehov på flygplatsen och att välja det alternativ som är lämpligast utifrån flygplatsens specifika förutsättningar kräver fördjupade dialoger och samordning med flygbranschen, myndigheter och övriga aktörer inom flygplatsens region.

- **Engagemang inom demonstrationsprojekt och initiativ**

De första batteridrivna elflygplanen förväntas certifieras och kunna bedrivas i kommersiell drift under andra hälften av 2020-talet. I det scenarioarbete som gjorts i denna handlingsplan presenteras flera potentiella rutter för dessa flygplan. Tidiga demonstrationsprojekt och liknande initiativ kommer att vara viktiga för att driva fram utvecklingen av batteridrivet elflyg samt för att kunna förstå och fördjupa relevanta affärsmodeller. De behövs för att demonstrera tekniken, för att driva utveckling och för att skapa kunskap och erfarenhet med hantering av batteridrivna elflyg på flygplatser och inom branschen. Dock kommer de vara i behov av finansiellt stöd och större samarbeten mellan aktörer både inom och utanför flygindustrin. Aktörer inom flygbranschen bör engagera sig i initiativ för att skapa de konsortium som krävs för att driva projekt som dessa och myndigheter kan bistå med finansiering.

- **Säkerställa möjligheten till att bedriva en kommersiell batteridrivna elflyglinje med utgång från Umeå Airport**

I denna rapport har vi övergripande visat att Umeå Airport kan anpassas till att hantera batteridrivna elflygplan. Förberedande åtgärder bör göras på andra flygplatser i syfte att kunna lansera regionens första elflyglinje när dessa flygplan finns tillgängliga. Idag genomförs flygningar till och från Åre/Östersund Airport, och flygplatsen har dessutom i samband med ett annat projekt utrett de anpassningsbehov som batteridrivna elflygplan medför. Att tillsammans med flygbranschen påvisa möjligheten att bedriva kommersiell elflygtrafik mellan dessa två flygplatser och initiera en kommersiell flyglinje kommer att positivt påverka och påskynda utrullningen av andra rutter inom Norden. Myndigheter och statliga aktörer bör även engagera sig i frågan samt påskynda arbetet med att ta fram miljökrav för upphandlade trafiklinjer då det finns en fortsatt sannolikhet att denna linje även i framtiden bör handlas upp.

- **Arbeta för ett sömlöst resande**

Tidsvinsten från elflyget äts ofta upp av de förluster som sker under resans övriga delar, från bristande kollektivtrafik till längre väntetider på flygplatserna. Aktörer inom transportbranschen och myndigheter bör sträva efter att förkorta dessa tidsförluster, genom att exempelvis erbjuda förbättrade och mer tillförlitliga kollektivtrafikkopplingar till flygplatserna. Flygbranschen bör även i samråd med flygplatserna utveckla effektivare hantering av de resenärer som ämnar flyga kortare rutter, som i framtiden är anpassade för batteridrivna elflygplan, för att erbjuda kortare ledtider i terminalen men som fortsättningsvis följer de höga säkerhetskrav som en flygplats ska upprätthålla. Detta är även en av de strategiska inriktningar som Swedavia verkar för.

Ordlista

Förstudie vätgas

| Förkortning/term | Förklaring |
|------------------|---|
| Vätgas/väte | Förtydliggörande till läsaren: I denna rapport används växelvis termerna "vätgas" och "väte". I de flesta sammanhang där vätgas diskuteras används endast termen "vätgas" även om det är flytande väte som avses. I denna rapport används termen "väte" när det specifikt avses som flygbränsle då det oftast är flytande väte som då menas (alltså ingen gas). |
| Jet-A1 | Konventionellt eller vanligt flygbränsle. Den vanligaste typ av flygbränsle att använda för kommersiella jetplan. |
| AVGAS100LL | En typ av konventionellt bränsle eller vanlig flygbensin. Används mest av mindre flygplan (t.ex. sportflygplan) med kolvmotorer. |
| Pax | Förkortning för passagerare, t.ex. antal passagerarsäten som ett flygplan har |
| NM | Nautiska mil. Nautiska mil används ofta istället för kilometer inom flygbranschen. (1 NM = 1.852 km) |
| SAF | Sustainable Aviation Fuels. SAF syftar på flygbränslen som kan användas som "drop-in fuels" för vanligt flygplansbränsle. Det innebär i regel att de är kemiskt identiska mot vanligt flygbränsle, men att de har lägre klimatpåverkan som helhet. Samma koncept som för biodiesel. |
| Turn around | "Turn around" syftar på den s.k. turn around processen vilket är vad som sker med ett konventionellt flygplan från och med att det landar på en flygplats tills att det är redo att lyfta igen. Processen innefattar bland annat avstigning av passagerare och bagage, städning, tankegång, påstigning av nya passagerare och bagage osv. |

Förstudie vätgas

1 Vätedrivet flyg

1.1 Introduktion

Väte, framför allt i form av flytande väte, har sedan länge betraktas av flygindustrin som ett möjligt flygbränsle. Några av de tidigare försöken att använda flytande väte som flygplansbränsle genomfördes i USA redan på 50-talet inom projekten Suntan¹ och Project Bee.² Då var avsikten med att använda flytande väte inte att reducera klimatpåverkan utan för att man såg en möjlighet att bränslet skulle ge flygplanet strategiska militära fördelar.³ Suntan var dock till stor del ett misslyckat projekt och inga flygningar utfördes, men i Project Bee lyckades man genomföra en kortare testflygning på väte. Även Sovjetunionen försökte sig på att använda flytande väte som flygplansbränsle och lyckades faktiskt år 1988 genomföra en flygning där en av det modifierade flygplanets motorer gick på flytande väte. Sovjeterna var inte heller motiverade av miljömässiga fördelar utan snarare av energi-politiska.⁴ Detta sovjetiska experiment fick dock ett abrupt slut år 1989 i och med Sovjetunionens fall. Idag fortsätter forskningen om vätgasflyg och det finns numera flera exempel på framgångsrika flygningar som skett med hjälp av vätgas eller flytande väte.⁵ Idag är den huvudsakliga motivationen att hitta ett sätt att flyga med låg klimatpåverkan.

¹ NASA, "LIQUID HYDROGEN AS A PROPULSION FUEL, 1945-1959" <https://history.nasa.gov/SP-4404/ch8-6.htm> [Använd 11 10 2022].

² Mark Finlay, "How The Martin B-57B Made Hydrogen-Powered Flights In The 1950s" Simpleflying, 05 03 2022. <https://simpleflying.com/martin-b-57b-hydrogen-powered-flights-1950s/> [Använd 31 10 2022].

³ Paul Shillito, "Project Suntan – The Lockheed CL-400" Curious Droid, 2 1 2020. <https://curious-droid.com/1290/project-suntan-the-lockheed-cl-400/> [Använd 11 10 2022].

⁴ Luca Tamburelli, "The Tupolev which flew on hydrogen 32 years ago" 27 09 2020. <http://blog.privatejetfinder.com/tu-155-hydrogen/> [Använd 11 10 2022].

⁵ International Energy Agency, "Global Hydrogen Review 2022" 2022.

1.2 Utmaningar och möjligheter

Att använda vätgas eller flytande väte som flygplansbränsle medför både nya utmaningar och möjligheter. Den största utmaningen är associerad med väteets låga volymetriska densitet. En kubikmeter vätgas trycksatt till 700 bar rymmer endast 12,4 procent av den energi som en lika stor volym av konventionellt Jet-A1 flygbränsle hade gjort. Med flytande väte blir omständigheterna något bättre och förhållandet blir 22,5 procent istället.⁶ Därför anses flytande väte vara det bästa alternativet som flygplansbränsle men det finns vissa nischer där trycksatt vätgas också skulle kunna vara ett alternativ, speciellt i det korta och medellånga tidsperspektivet. En utav de stora utmaningarna för flygplansingenjörerna är således att hitta utrymme på planet för bränsletankarna. Lägg även till utmaningen att flytande väte kräver specialdesignade tankar som inte kan placeras i planets vingar på det sätt som ofta görs idag i konventionella flygplan. På grund av detta är flera av de flygplansdesigner föreslagna för flytande väte av helt annan form och utseende än de typiska "narrow-body" flygplan som man ser idag.

Väte som flygplansbränsle är dock inte endast belastat med nackdelar. Utöver den mest uppenbara fördelen, att kunna flyga fossilfritt, finns även en rad andra fördelar. En sådan är möjligheten till elektrisk framdrift på planet. Med hjälp av bränsleceller är det möjligt att omvandla den lagrade energin i vätet till elektrisk kraft som driver elmotorer med propellrar för att föra planet framåt eller för att användas till annan elförbrukning ombord på planet. Med en sådan lösning är det möjligt att placera flygplansmotorerna i helt andra antal och positioner än vad som är möjligt med förbränningsmotorerna, vilket kan ge fördelar vid utformningen av flygplanet. Det är med väte också möjligt att ha konventionell framdrift med jetmotorer förutsatt att de är anpassade för det.

Jämfört med batteridrivna elflygplan är den vätedrivna lösningen dock mindre energieffektiv. Detta beror på att omvandlingen av el till vätgas genom elektrolys har en verkningsgrad på cirka 70 procent och omvandlingen av vätgas i bränslecellen har en 50 procentig verkningsgrad, som tillsammans ger en omvandlingsfaktor mellan producerad landel och el på flygplanet på max 35 procent.

Trots att forskning och utveckling kring vätedrivet flyg har pågått länge är teknologin ännu i ett teknologiskt och framför allt kommersiellt omoget stadium. Det är väl bevisat att vätedrivet flyg är tekniskt möjligt, men det lär krävas flera framsteg innan det blir ett rimligt alternativ kommersiellt. På kort sikt är det mest troligt att mindre flygplan och kortare flygsträckor blir föremål för vätedrift i demonstrationsprojekt. Målsättningar att få sådana plan på plats till 2025 har nämnts av flera aktörer.^{7,8} De större flygplanen lär dröja något längre, exempelvis menar Airbus att deras satsning är redo för kommersiell drift först 2035.⁹

1.3 Historiska framsteg samt pågående forskning och innovation för vätedrivna luftfarkoster

Utvecklingen av vätedrivet flyg har pågått länge och fortsätter än idag. Nedan sammanfattas ett par intressanta exempel på historiska framsteg samt pågående forskning, innovation och satsningar för vätedrivna luftfarkoster.

⁶ Räknat med: $p_{\text{Jet-A1}} = 821 \text{ kg/m}^3$; $LHV_{\text{Jet-A1}} = 12,8 \text{ kWh/m}^3$; $\rho_{\text{H}_2@700\text{bar}} = 39,2 \text{ kg/m}^3$; $\rho_{\text{LH}_2} = 70,9 \text{ kg/m}^3$; $LHV_{\text{H}_2} = 33,33 \text{ kWh/m}^3$

⁷ ZeroAvia, "ZeroAvia.com" <https://www.zeroavia.com/> [Använd 11 10 2022].

⁸ Business Wire, "Universal Hydrogen and Connect Airlines Announce Firm Order for Conversion of 75 ATR 72-600 Regional Aircraft to Be Powered by Green Hydrogen" Business Wire, 09 06 2022. <https://www.businesswire.com/news/home/20220608006035/en/Universal-Hydrogen-and-Connect-Airlines-Announce-Firm-Order-for-Conversion-of-75-ATR-72-600-Regional-Aircraft-to-Be-Powered-by-Green-Hydrogen> [Använd 31 10 2022].

⁹ Airbus, "The ZEROe demonstrator has arrived" Airbus, 22 2 2022. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-02-the-zeroe-demonstrator-has-arrived> [Använd 11 10 2022].

Project Suntan

Detta nordamerikanska "extremt topphemliga" projekt är bland de första kända exemplen på försök att använda flytande väte som flygplansbränsle redan på 50-talet. Inom projektet lyckades man utföra tester med vätgas i jetmotorer och utveckla prototyper till bränsletankar. Dock så byggdes aldrig någon prototypfarkost och inga flygningar utfördes med väte.¹⁰

Project Bee

Detta projekt utfördes av NASA:s föregångare NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) år 1957. Liksom för Project Suntan var motivationen att väte skulle tillåta spionplan att flyga på högre höjder och på så sätt vara svårare att upptäcka. I Project Bee lyckades man utföra en 20 minuters testflygning med väte genom att modifiera ett befintligt Martin B-57 Canberra plan så att dess motorer kunde drivas med antingen väte eller vanligt jetbränsle. Planet var dessutom utrustat med en extra bränsletank för väte.¹¹

Tupolev Tu-155

Tu-155 utgör den första kända testflygningen med väte som flygplansbränsle för ett passagerarplan vilket skedde 1988. Dock var det endast en av motorerna som drevs på väte, resterande drevs på vanligt vis. Projektet bytte senare fokus till att studera naturgas som flygplansbränsle men till slut lades hela projektet ned i och med Sovjetunionens fall.¹²

Vätedrivna drönare

Det har funnits och finns flera exempel på obemannade drönare som drivs med väte. Ett exempel är Boeing Phantom Eye. Phantom Eye var en helt vätedriven övervakningsdrönare utvecklad av amerikanska Boeing. Drönaren kunde flyga på hög höjd och hålla sig uppe i luften i flera dygn. Framgångsrika testflygningar utfördes 2012 och 2013 men projektet lades ändå ned 2014.¹³ Även den sydkoreanska militären har satsat på vätedrivna drönare och valde att år 2021 köpa upp en mängd vätedrivna drönare. Militären är intresserade av att använda vätedrivna drönare för övervakning då dessa kan vara uppe i luften mycket längre än batteridrivna drönare.¹⁴ Utöver militärt användande finns det exempel på vätedrivna drönare som används civilt. Exempel på detta är sydkoreanska LIG Nex1s drönare KCD-200 som skall kunna användas för frakttransport både inom den civila och militära sektorn.¹⁵

ZeroAvia

ZeroAvia är ett brittiskt/amerikanskt start-up bolag som jobbar med att utveckla vätedrivet flyg. ZeroAvia lyckades framgångsrikt utföra världens första testflygning av ett vätgaselektriskt sportflygplan år 2020.¹⁶ De arbetar nu med att bygga om ett större vätgaselektriskt flygplan (modell Dornier 228) men har ännu inte utfört några testflygningar med det (September 23, 2022).¹⁷ Enligt deras utvecklingsplan ska de ha

¹⁰ NASA, "LIQUID HYDROGEN AS A PROPULSION FUEL, 1945-1959" <https://history.nasa.gov/SP-4404/ch8-6.htm> [Använd 11 10 2022].

¹¹ Mark Finlay, "How The Martin B-57B Made Hydrogen-Powered Flights In The 1950s" Simpleflying, 05 03 2022. <https://simpleflying.com/martin-b-57b-hydrogen-powered-flights-1950s/> [Använd 31 10 2022].

¹² Universal Hydrogen, "Regional Aircraft" <https://hydrogen.aero/product/> [Använd 11 10 2022].

¹³ Boeing, "An Eye in the Sky" <https://www.boeing.com/defense/phantom-eye/> [Använd 11 10 2022].

¹⁴ Shahkar Ali, "South Korean army buys hydrogen-powered drones from Doosan", H2Bulletin 17 03 2021. <https://www.h2bulletin.com/south-korean-army-buys-hydrogen-powered-drones-from-doosan/> [Använd 03 11 2022].

¹⁵ Valius Venckunas, "South Korea's LIG Nex1 reveals hydrogen-powered cargo drone", Aerotime hub, 21 10 2021. <https://www.aerotime.aero/articles/29249-south-korean-lig-nex1-reveals-hydrogen-powered-cargo-drone> [Använd 03 11 2022].

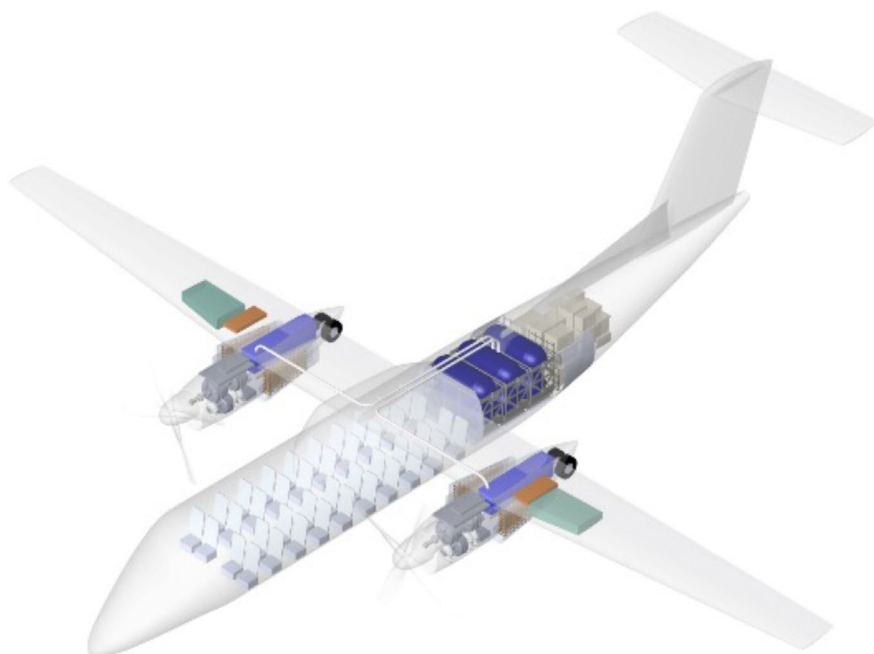
¹⁶ ZeroAvia, "ZeroAvia Completes World First Hydrogen-Electric Passenger Plane Flight" 25 09 2022. <https://www.zeroavia.com/press-release-25-09-2020> [Använd 11 10 2022].

bränslecellsflygplan för 20 pax i kommersiell drift år 2025. ZeroAvias tidiga lösningar kommer att vara drivna med vätgas, men i det längre perspektivet tänker de sig flytande väte som bränsle.

Universal Hydrogen

Universal Hydrogen är ett start-up bolag grundat 2020. De utvecklar lösningar för vätedrivet flyg och den första produkt de planerar att lansera är ett konverteringskit för att bygga om flygplan av modellerna ATR72 och De Havilland Canada Dash-8, att flyga med väte istället för vanligt flygbränsle. Ett kanadensiskt flygbolag har skrivit på en överenskommelse att använda 75 sådana konverterade flygplan till 2025.¹⁸ Universal Hydrogen föreslår även en unik lösning för hur flygplanen kan tankas med väte, detta beskrivs mer i detalj senare i rapporten.

Figur 1: Bild som visar Universal Hydrogens koncept¹⁹



Flera flygbolag ser väte som möjlighet

Det välbekanta lågprisflygbolaget easyJet har angivit väte som den mest lovande tekniken för att möjliggöra flyg med noll koldioxidutsläpp i deras framtidsplan för att nå netto-noll utsläpp till 2050. I deras plan beskrivs att man till en början vill starta flygverksamheten med väte från en enskild flygplats och främst satsa på inrikes flyg. De samarbetar även med Rolls Royce för att utveckla lagring och jetmotorer för väte. Andra samarbeten finns även med företag så som Airbus, GKN Aerospace m.fl.²⁰

¹⁷ ZeroAvia, "First Movements of ZeroAvia's #Dornier228 Aircraft" 13 09 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=COOHCDGjFNY> [Använd 11 10 2022].

¹⁸ Business Wire, "Universal Hydrogen and Connect Airlines Announce Firm Order for Conversion of 75 ATR 72-600 Regional Aircraft to Be Powered by Green Hydrogen" Business Wire, 09 06 2022.

¹⁹ Universal Hydrogen, "Regional Aircraft" <https://hydrogen.aero/product/> [Använd 11 10 2022].

²⁰ easyJet, "Net Zero Pathway", <https://corporate.easyjet.com/~media/Files/E/Easyjet/documents/easyjet-nz-roadmap.pdf> [Använd 03 11 2022].

Utöver easyJet finns det flera välkända stora flygbolag, exempelvis; Delta Air Lines,²¹ Air France-KLM,²² United Airlines²³ och Lufthansa,²⁴ som på olika sätt engagerar sig i diverse projekt med syftet att stödja utvecklandet av vätedrivet flyg.

Airbus ZEROe

ZEROe är flygplanstillverkaren Airbus initiativ för att utveckla vätedrivna flyg. Inom ZEROe har flera koncept presenterats för hur vätedrivna kommersiella flygplan skulle kunna se ut i framtiden. Blended-Wing Body konceptet är ett exempel på hur annorlunda flygplan skulle kunna se ut när de använder flytande väte som bränsle (se Figur 2). Airbus har börjat testa tekniker för väteflyg i ett demonstrationsprojekt som lanserades i början av 2022. Målet är att lansera sitt första kommersiella vätedrivna flygplan år 2035.²⁶

Figur 2: Airbus Zero-e Blended-Wing Body Concept. Den unika flygplansformen är till för att mer effektivt kunna lagra flytande väte ombord. Källa: Airbus.



© AIRBUS 2020 - All rights reserved - IIVS

²¹ Delta, "A decarbonized future for flight: Delta and Airbus collaborate to pull forward the future of hydrogen fuel" 17 03 2022 <https://news.delta.com/decarbonized-future-flight-delta-and-airbus-collaborate-pull-forward-future-hydrogen-fuel> [Använd 09 11 2022]

²² David Kaminski-Morrow, "Airbus and Air France spearhead Paris bid to advance hydrogen-hub airports", 11 02 2021, <https://www.flightglobal.com/air-transport/airbus-and-air-france-spearhead-paris-bid-to-advance-hydrogen-hub-airports/142385.article> [Använd 15 11 2022]

²³ FuelCellsWorks, "United Airlines Makes Investment in Hydrogen Fuel Cell-Electric Engine Developer ZeroAvia" 13 12 2021, <https://fuelcellworks.com/news/united-airlines-makes-investment-in-hydrogen-fuel-cell-electric-engine-developer-zeroavia/> [Använd 15 11 2022]

²⁴ Lufthansa group, "Hydrogen Aviation Lab Hamburg" <https://cleantechhub.lufthansagroup.com/en/focus-areas/between-and-beyond/hydrogen-aviation-lab-hamburg.htm> [Använd 09 11 2022]

²⁵ Airbus, "Towards the world's first zero-emission commercial aircraft" <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe> [Använd 11 10 2022].

²⁶ Airbus, "The ZEROe demonstrator has arrived" Airbus, 22 2 2022. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-02-the-zeroe-demonstrator-has-arrived> [Använd 11 10 2022].

GKN Aerospace H2Jet

Från svenskt håll finns projektet H2Jet som leds av GKN Aerospace och utförs tillsammans med RISE, Chalmers, Lunds universitet, KTH, Högskolan Väst och uppstarts företaget Oxeon. Projektet finansieras av Energi-myndigheten. Målet är att utveckla tekniska lösningar för tre viktiga del-system för vätedrivna flygmotorer.²⁷

Xfly H2ATR72

Xfly är ett relativt litet flygbolag som är helägt av den estniska staten. Likt flera andra flygbolag har Xfly ambitioner för framtida hållbarhet, men utmärker sig mot andra flygbolag i området runt Östersjön med att vara det första kommersiella flygbolaget att specifikt satsa på väteframdrift för sina plan. De anser att väte är den bästa lösningen på lång sikt för medel-stora flygplan vilket är vad deras flygplansflotta huvudsakligen består av. Deras första mål är att till 2030 ha ett flygplan i ATR-serien (typiskt propeller-plan med plats för cirka 80 passagerare) konverterat till vätgas-elektrisk framdrift.²⁸ Xfly har fått finansiering från European Clean Hydrogen Alliance för sitt projekt som de kallar H2ATR72.²⁹

ELSA Industry

ELSA Industry är ett litet bolag med huvudkontor i Bukarest som specialiserar sig på forskning och utveckling inom luftfart. Väte är ett av deras utvecklingsområden och de har bland annat tagit fram flera koncept för olika mindre vätedrivna flygplan, men har ännu inte tagit fram några prototyper som är kända för allmänheten.³⁰

2 Grön vätgas och flytande väte

2.1 Introduktion

Vätgas betecknas som "grön" när den framställs av förnybar el och vanligt vatten genom en process kallad elektrolys. Denna gröna vätgas innehåller energi som kan användas till en mängd olika applikationer, exempelvis för att driva flygplan. Fördelen med grön vätgas är att den inte orsakar några koldioxidutsläpp varken när den produceras eller konsumeras. På så sätt fungerar den som ett helt koldioxidfritt bränsle. Av denna anledning anses vätgas vara en viktig nyckel för att lösa klimatomställningen. Dock bör det också poängteras att vätgas kan framställas på andra sätt än genom elektrolys av vatten och då med varierande klimatpåverkan. Idag används majoriteten av all vätgas inom industriella processer och framställs från fossila bränslen³¹ vilket gör att den ej betraktas som grön.

2.2 Lagring av vätgas och flytande väte ombord på farkoster

När det kommer till fordonsbränslen har vätgas, jämfört mot andra bränslen, fördelen att den har en hög energidensitet per vikt (gravimetrisk), men nackdelen att den har en mycket låg energidensitet per volym (volymetrisk). Detta leder till att de bränsletankar som krävs för att lagra vätgasen ombord på fordonet kan bli för stora och tunga för att passa till fordonsapplikationen. Ett sätt att öka den volymetriska energi-

²⁷ RISE, "H²JET - Utveckling av nyckelkomponenter för vätgasdrivna flygmotorer" <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/h2jet> [Använd 01 11 2022].

²⁸ Xfly, "We love doing our part", <https://xfly.ee/sustainability/> [Använd 03 11 2022].

²⁹ European Commission, "Project pipeline of the European Clean Hydrogen Alliance", https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance/project-pipeline_en [Använd 03 11 2022].

³⁰ ELSA Industry, "Hydrogen Systems", https://www.elsaindustry.eu/home/rd/hydrogen_systems/ [Använd 03 11 2022].

³¹ International Energy Agency, "Global Hydrogen Review 2022" 2022.

densiteten på vätgasen är antingen att trycksätta den eller att förvätska den. Med vätgas trycksatt till 350 eller 700 bar, vilket typiskt används som arbetstryck för vägfordon, är det möjligt att uppnå volymetriska energidensiteter på 773 och 1 306 kWh/m³. Behållare för att kunna lagra vätgas vid dessa tryck behöver ha god hållfasthet vilket gör att behållarna kan bli tunga. Denna viktökning innebär ett visst problem för vägfordon men blir mer begränsade för flygplan.

Flytande väte är vätgas i dess flytande form och har fördelen att den har betydligt högre volymetrisk energidensitet än i gasform. Det flytande vätet framställs genom en förvätskningsprocess där vätgasen komprimeras och kyls ned till mycket låga temperaturer. Eftersom den kritiska punkten för väte är vid 12,96 bar och 33,14 Kelvin (-240 °C) innebär detta att flytande väte alltid måste befinna sig vid en temperatur på 33,14 Kelvin³² eller lägre för att inte förångas. Förångning av vätet innebär att det återgår till gasform och när det sker måste en del av gasen släppas ut ur tanken för att förhindra att ett allt för högt tryck byggs upp i tanken. Förångning kan alltså innebära en direkt förlust av bränsle om den inte kan omvandlas till nyttig el i en bränslecell. Hantering av flytande väte kräver således bränsletankar med mycket god värmeisoleringsförmåga, men de behöver inte vara lika mekaniskt starka då det flytande vätet lagras vid ett betydligt lägre tryck (typiskt 5 – 15 bar).³³ Därför är tankar för flytande väte både mindre och lättare än tankar för trycksatt vätgas vilket gör dem mer attraktiva att användas i flygplan.

2.3 Framdrift av flygplan med väte som bränsle

Det finns huvudsakligen två sätt som väte kan användas som flygplansbränsle. Det ena sättet är att förbränna vätet i en turbojetmotor och det andra sättet är att använda en bränslecell som omvandlar vätets energi till elektricitet vilket i sin tur kan driva elektriska motorer. Båda alternativen har sina för- och nackdelar.

Att använda en turbojetmotor är mer likt dagens flygplan och på så sätt en mindre ”främmande lösning”. Det går dock generellt sett inte att använda väte i en vanlig flygplansmotor, den måste vara anpassad för väte för att det skall fungera. Flera företag jobbar idag på att utveckla sådana väteanpassade turbojetmotorer. Turbojetmotorer är bra på så sätt att de kan leverera mycket kraft i förhållande till sin vikt vilket är fördelaktigt för flygplan. Däremot är de inte lika energieffektiva som bränsleceller och kan fortfarande orsaka utsläpp av kväveoxider (se även avsnitt 3.1).³⁴

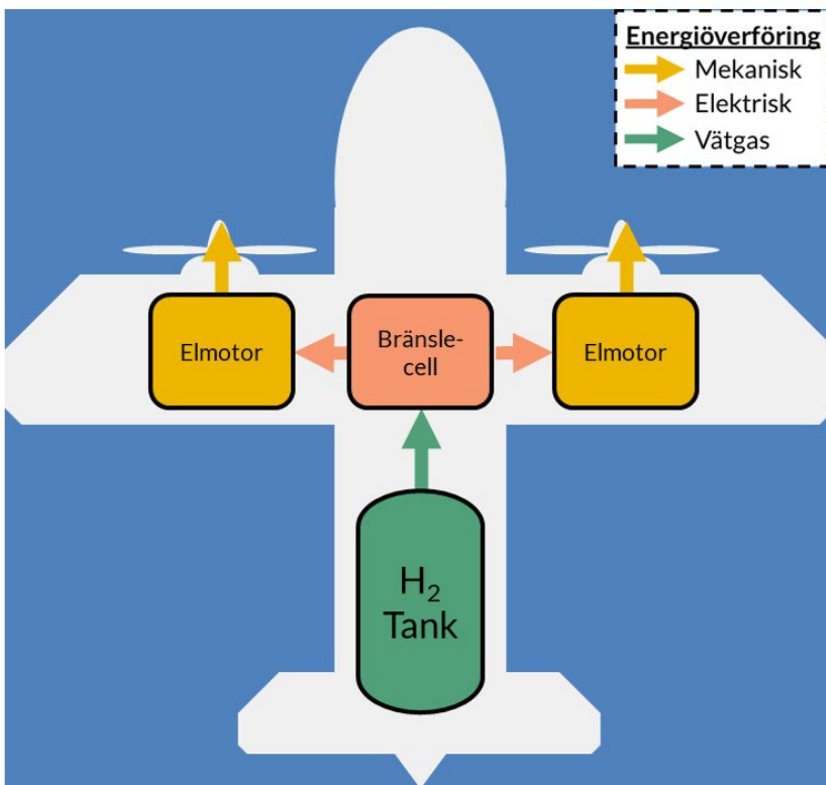
I rapporten ”Hydrogen-powered aviation” från FCH JU 2020 anser man att det finns användning för både turbojetmotorer och bränsleceller för vätedrivna flyg. I rapporten ser man främst att bränsleceller är en bra lösning för mindre flygplan medan större flygplan kan komma att behöva turbojetmotorer. I ett fall föreslås det även en hybridlösning mellan båda alternativen.

³² NIST, ”Thermophysical Properties of Fluid Systems” 03 03 2022. <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> [Använd 03 11 2022]

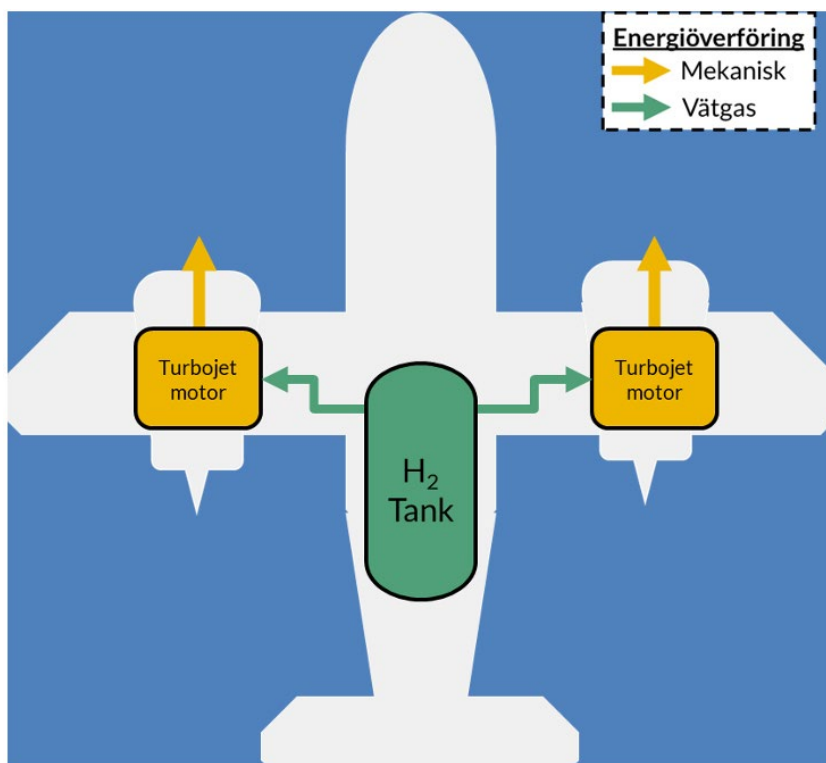
³³ RISE; AB Volvo, ”Flytande väte som ett logistiskt bränsle – En förstudie” Energimyndigheten, Eskilstuna, 2022.

³⁴ FCH JU, ”Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050” 2020.

Figur 3: Schematisk illustration av framdrift med bränslecell.



Figur 4: Schematisk illustration av framdrift med turbojetmotor.

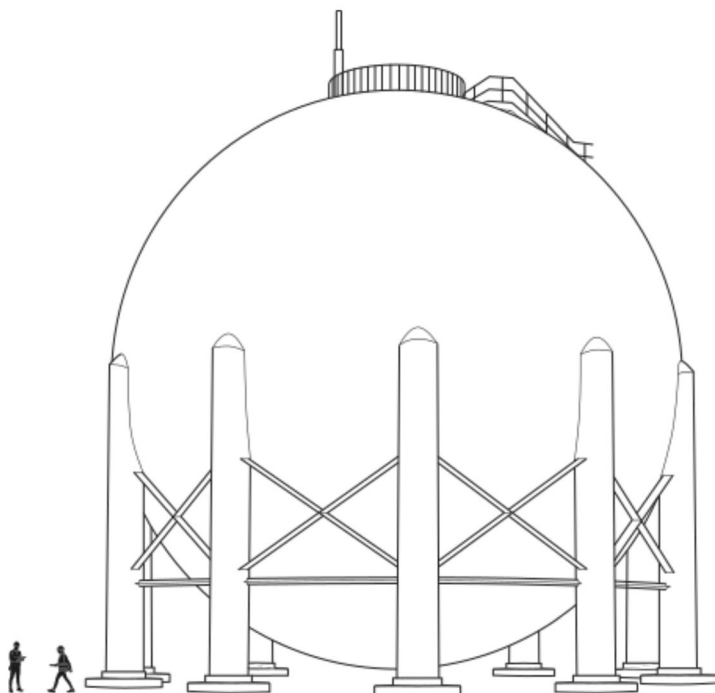


2.4 Stationär lagring av flytande väte på flygplatsen

Flygplatsen bör kunna lagra en stor mängd flytande väte för att kunna tillgodose ett varierande behov av flygplansbränsle. Det finns redan idag behållare (s.k. Dewar) för lagring av kryogena gaser. Dessa är typiskt sett cylindriska eller klotformade till formen, har mycket god värmeisolering och har endast små förluster till förångning.³⁵

Flygplatser som vill lagra sitt eget flytande väte skulle behöva upprätta sådana lager. I Figur 5 illustreras hur ett sådant lager kan se ut för en mindre flygplats samt lagrets storlek.

Figur 5: Tänkbar form och storlek för ett lager med flytande väte för en mindre flygplats.



2.5 Försörjning av flytande väte till flygplatsen

Det finns flera möjligheter för hur en flygplats kan förses med väte. Vätet kan produceras, distribueras och/eller lagras på olika sätt. Detta avsnitt illustrerar tre olika alternativ för hur en flygplats kan förses med flytande väte. Samtliga alternativ utgår från grön vätgas producerad genom elektrolys av vatten.

De största utmaningarna med att försörja en flygplats med väte är kopplade till tillgång på förnybar elektricitet och logistik. Att producera ett kilo vätgas med elektrolys av vatten kräver cirka 50 kWh elektricitet.³⁶ Även förvätskning och kompression av vätgas kräver elektricitet, cirka 10 – 15 kWh el/kg H₂ för förvätskning³⁷ och cirka 3 – 6 kWh el/kg H₂ för kompression.³⁸ Utrustning för produktion, distribution och lagring av väte kräver mycket utrymme jämfört med andra bränslen (p.g.a. vätets låga volymetriska densitet).

³⁵ Airports Council International, Aerospace Technology Institute, "Integration of Hydrogen Aircraft into the Air Transport System: An Airport Operations and Infrastructure Review" 2020.

³⁶ RISE, "Studie över elektrolys-teknologier idag och i framtiden" RISE, 2021.

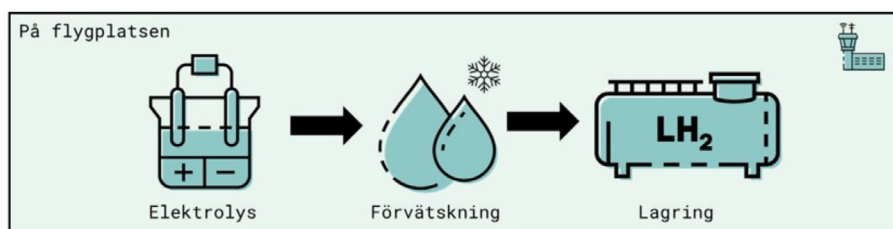
³⁷ RISE; AB Volvo, "Flytande väte som ett logistiskt bränsle – En förstudie" Energimyndigheten, Eskilstuna, 2022.

³⁸ Monterey Gardiner, "Energy requirements for hydrogen gas compression and liquefaction as related to vehicle storage needs" U.S. Department of Energy, 2009.

2.5.1 Lokal elektrolys och förvätskning

Det är möjligt för flygplatsen att vara helt självförsörjande med flytande väte genom att ha både elektrolys och förvätskning innanför flygplatsens grindar. Med denna lösning krävs ingen omfattande distribution av vätet vilket både minskar kostnader och ökar leveranssäkerhet av bränslet. Dock så kräver denna lösning att flygplatsen har god tillgång till stora mängder förnybar elektricitet samt en viss minsta förbrukning av flytande väte då förvätskning av väte generellt sett inte är energi- eller kostnadseffektivt för mängder mindre än några ton väte per dag.³⁹ Av denna anledning är detta alternativ sannolikt inte rimligt för mindre flygplatser. Tidigare studier har även visat att det kan bli en utmaning att hitta tillräckligt med utrymme på flygplatsen för att få plats med anläggning för elektrolys och förvätskning samt eventuell lokal elproduktion från sol och vind. Detta innebär att flygplatser med lokal vätgasproduktion kan behöva vara mycket större till ytan än dagens flygplatser.⁴⁰

Figur 6: Illustration av lokal elektrolys och förvätskning.



2.5.2 Leverans av vätgas via pipeline och lokal förvätskning

Möjligheten att etablera större distributionsnät för vätgas (likt de som redan finns idag för naturgas) har diskuterats på både nationellt⁴¹ och europeiskt plan.⁴² Ett sådant nätverk skulle sammankoppla producenter och användare av vätgas i en större region och möjliggöra kostnadseffektiv handel och distribution av vätgas. Förutsatt att ett nätverk som detta finns skulle flygplatsen kunna använda sig av det för att förse sig med vätgas som man sedan själv förvätskar till flytande väte (det anses generellt sett inte aktuellt att distribuera flytande väte via ett sådant nätverk, endast vätgas). Med denna lösning kan man minska flygplatsens egna behov av förnybar elektricitet och utrymme avsevärt jämfört mot att ha egen elektrolys. Genom att producera vätgasen på annan ort än på flygplatsen kan produktionen göras mer kostnadseffektiv. Viss förnybar elektricitet och utrymme krävs fortfarande för förvätskningen. Det krävs också att vätebehovet är relativt högt på flygplatsen då det annars inte blir kostnadseffektivt att etablera förvätskning eller att ansluta flygplatsen till vätgasledningen.

Idag existerar inget sådant nätverk i Sverige, men förstudier för hur de kan se ut har utförts både för den svenska västkusten⁴³ och runt Botten-viken.⁴⁴ Förutsättningarna för att ett sådant nätverk skall etableras är att

³⁹ RISE; AB Volvo, "Flytande väte som ett logistiskt bränsle – En förstudie" Energimyndigheten, Eskilstuna, 2022.

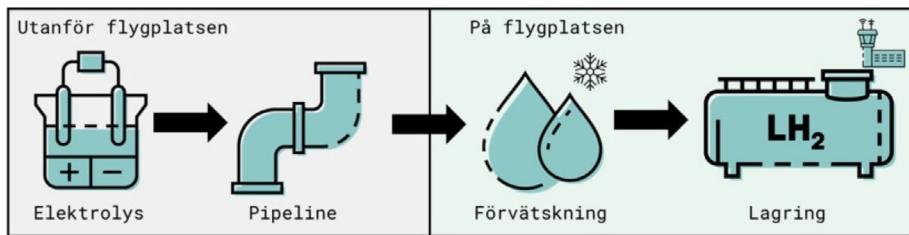
⁴⁰ Airports Council International, Aerospace Technology Institute, "Integration of Hydrogen Aircraft into the Air Transport System: An Airport Operations and Infrastructure Review" 2020.

⁴¹ Vätgas Sverige, "De vill bygga en 100 mil lång vätgasledning" <https://vatgas.se/2022/05/10/de-vill-bygga-en-100-mil-lang-vatgasledning/> [Använd 11 10 2022].

⁴² European Hydrogen Backbone, "The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative" <https://www.ehb.eu/> [Använd 11 10 2022].

det finns ett stort behov samt produktionspotential av vätgas utspritt över ett rimligt avstånd.

Figur 7: Illustration av leverans av vätgas via pipeline och lokal förvätskning.



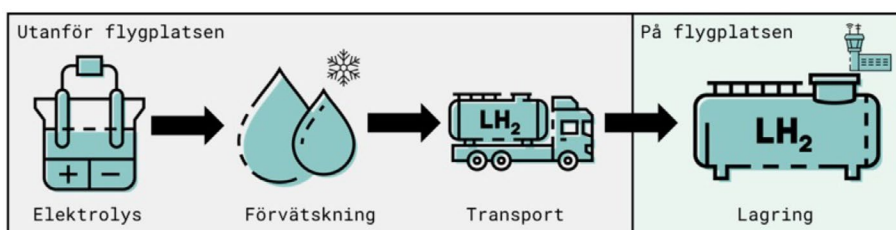
2.5.3 Leverans av flytande väte med fordonstransport

Det är även möjligt att vätet både produceras och förvätskas på annan ort och sedan levereras till flygplatsen via någon form av transport på samma vis som vanligt flygplansbränsle idag levereras till flygplatser. Detta förutsätter att det finns en anläggning för produktion och förvätskning av väte på ett rimligt avstånd till flygplatsen. Den vanligaste transportformen är via lastbil, men förutom lastbilar är det även möjligt att använda andra transportmedel så som tåg och fartyg om omgivningen tillåter det.

Med denna lösning påverkas inte flygplatsens elbehov mycket alls jämfört med dagens nivåer. Det är också den minst utrymmeskrävande lösningen av de tre alternativen. Nackdelen med denna lösning är den omfattande bränslelogistiken i form av lastbilsleveranser. Det uppskattas att för att leverera samma mängd energi som en tankbil med vanligt Jet-A1 flygbränsle krävs det fyra tankbilar med flytande väte.⁴⁵ För en större flygplats skulle denna trafikmängd sannolikt bli svår att hantera. Denna lösning anses främst vara lämplig för mindre flygplatser eller flygplatser som är i ett tidigt skede i omställningen till vätedrivet flyg då det även är den lösning som kräver minst ny infrastruktur på flygplatsen.

Till många vätgastankstationer för vägfordon används idag leveranser av vätgas i trycksatt gasform. Detta är dock inte en rimlig lösning för flygplatser då transport av vätgas i gasform kräver ännu fler lastbilar än med flytande väte (ännu större trafikproblem) samt att förvätskning vid flygplatsen då krävs vilket, som diskuterats tidigare, medför nackdelar.

Figur 8: Illustration av leverans av flytande väte till flygplatsen med lastbilstransport.



⁴³ RISE, "Vätgas på Västkusten" 2022.

⁴⁴ RISE; LTU, "Prestudy H²ESIN: Hydrogen energy system and infrastructure in Northern Scandinavia and Finland" 2022.

⁴⁵ Airports Council International, Aerospace Technology Institute, "Integration of Hydrogen Aircraft into the Air Transport System: An Airport Operations and Infrastructure Review" 2020.

Jämförelse mellan bränsleförsörjningsalternativen

Tabell 1: Jämförelse mellan bränsleförsörjningsalternativen.

| Lokal elektrolys och förvätskning | Leverans av vätgas via pipeline och lokal förvätskning | Leverans av flytande väte till flygplatsen med lastbils-transport |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Stort ökat behov av förnybar el på flygplatsen (ca 60 – 65 kWh el/kg H₂)- Stort behov av ökat utrymme på flygplatsen- Kräver en minsta mängd av vätgasbehov (tonvis med väte per dygn)+ Självförsörjande på flygbränsle+ Ingen bränsletrafik till flygplatsen | <ul style="list-style-type: none">- Visst ökat behov av förnybar el på flygplatsen (ca 10–15 kWh el/kg H₂)- Visst behov av ökat utrymme på flygplatsen- Kräver att en minsta mängd av vätgasbehov- (tonvis med väte per dygn)- Förutsätter tillgång till pipeline-infrastruktur för vätgas+ Ingen ökning av trafik till flygplatsen | <ul style="list-style-type: none">- Förutsätter att elektrolys och förvätskning finns på annan ort på rimligt avstånd till flygplatsen- Kraftig ökning av bränsletrafik till flygplatsen+ Inget markant ökat behov av förnybar el på flygplatsen+ Inget behov av ökat utrymme på flygplatsen+ Kräver en lägre mängd av vätgasbehov |

2.6 Tankning och infrastruktur för flygplatser

Idag hanteras vätgas främst inom den industriella sektorn, men det finns också ett antal vätgastankstationer för vägfordon i flera länder.⁴⁶ Att kunna tanka större fordon med vätgas vid högt tryck eller flytande väte är en relativt ny teknologisk utmaning och det saknas ännu i flera fall standardiserade förfaranden. I tidigare studier har det tagits fram flera förslag på hur man skulle kunna tanka flygplan med flytande väte på flygplatsen. Några av dessa förslag sammanfattas senare i denna text. Fokus ligger främst på flytande väte som flygplansbränsle och det är flytande väte som tankningslösningarna avser. Tankning av väte på flygplatsen diskuteras även i rapportens senare del, men då framför allt ur ett säkerhetsmässigt perspektiv.

2.6.1 Utmaningar och möjligheter

På ett ytligt plan ser lösningar för väte ut att vara mycket lika de för tankning av vanligt flygplansbränsle. Men eftersom flytande väte har helt andra egenskaper som vätska än vanligt flygplansbränsle, krävs det att tankningen är anpassad efter detta. Exempelvis är det viktigt att så lite som möjligt av det flytande vätet förångas under tankningsprocessen (s.k. "boil-off"). Om stora mängder flytande väte förångas ökar trycket vilket innebär att en del av vätet måste släppas ut för att förhindra att ett allt för högt tryck byggs upp, detta medför alltså en direkt förlust av bränsle. Förångning är något som bland annat skulle kunna ske om värmeisoleringen är för dålig. Även säkerhetsmässiga åtgärder är annorlunda för flytande väte, detta behandlas dock i mer detalj i ett senare avsnitt av rapporten. Dessa tekniska utmaningar anses dock inte vara ett för stort hinder för att tankning av flytande väte ska kunna göras lika säkert som tankning av vanligt flygplansbränsle.⁴⁷

Kanske är den känsligaste punkten för tankning med väte tiden det tar att tanka. För kommersiella linjeflyg är tiden som flygplanet måste spendera på marken (s.k. "turn around"-tid) för att låta passagerare stiga av och på, byta personal, städas, underhållas eller tankas mycket dyrbar. Om det tar längre tid att tanka med flytande väte än vad det tar att tanka vanligt flygplansbränsle, riskeras stora ekonomiska förluster för flygbolaget. Detta innebär att om väte ska vara ett rimligt alternativ som flygplansbränsle måste man också kunna tanka fort och pålitligt.

2.6.2 Tankbil

Den enklaste tänkbara lösningen för tankning av flygplanen är att en tankbil används. Denna bil skulle då köra ut till flygplanen och tanka dem där de står. Denna lösning finns redan för vanligt flygplansbränsle och skulle även kunna användas för flytande väte, förutsatt att tankbilarna är anpassade efter detta. Fördelen med denna lösning är att den är enkel, flexibel och ställer låga krav på flygplatsens infrastruktur. Nackdelen med denna lösning är att tankbilarna inte är effektiva nog när man måste hantera stora mängder bränsle. För en större flygplats blir det alldeles för mycket trafik på flygplatsen vilket orsakar svårigheter.⁴⁸ Dessa logistiska problem förekommer även för vanligt flygplansbränsle, men blir mer på-

⁴⁶ Hydrogen Tools, "INTERNATIONAL HYDROGEN FUELING STATIONS," 30 9 2022. <https://h2tools.org/hvarc/hydrogen-data/international-hydrogen-fueling-stations>. [Använd 14 10 2022].

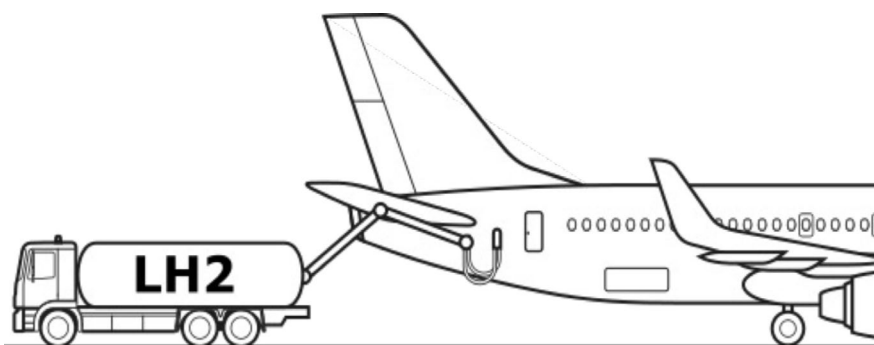
⁴⁷ Hoelzen et al., "Hydrogen-powered aviation and its reliance on green hydrogen infrastructure - Review and research gaps," International journal of hydrogen energy, nr 47, pp. 3108-3130, 2022.

⁴⁸ Aerospace Technology Institute, "Hydrogen Infrastructure and Operations" 2022.

tagligt för flytande väte då större volymer av flytande väte behövs än för vanligt flygplansbränsle.

En tankbilslösning anses vara en bra lösning för flygplatser med en liten mängd vätedrivna flyg, antingen för att flygplatsen är liten eller för att inte så många flygplan går på väte än. I rapporten "Hydrogen Infrastructure and Operations" från 2022⁴⁹ gör man uppskattningen att för mindre flygplatser (med 7,5 – 10 miljoner passagerare per år) bör denna lösning fungera även på lång sikt, men att mellanstora (35 – 50 milj. passagerare per år) och stora flygplatser (110 – 135 miljoner passagerare per år) bör undersöka andra lösningar. Dessa passagerarmängder kan jämföras med Umeå flygplats som endast hade en miljon per år innan Covid-19-pandemin.⁵⁰

Figur 9: Illustration av tankning med flytande väte.



2.6.3 Rörledningssystem

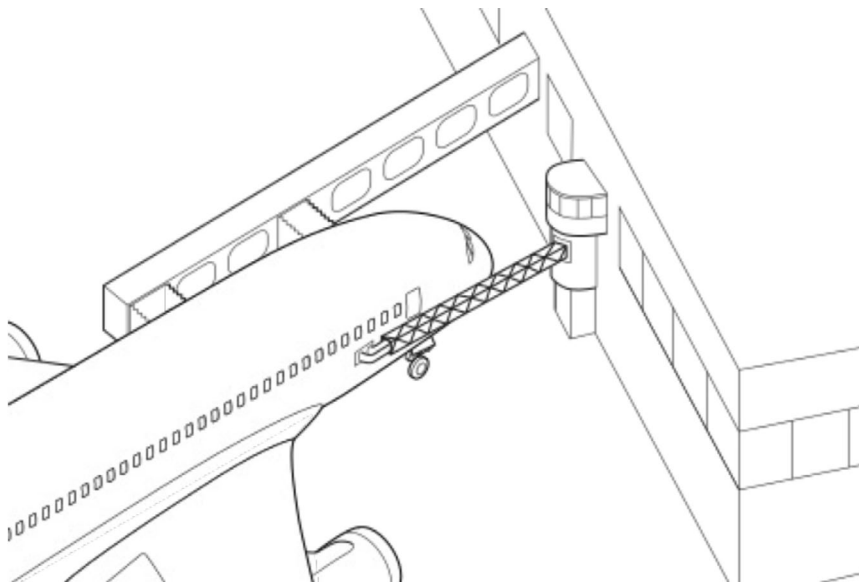
Som alternativ till tankbil skulle ett rörledningssystem på flygplatsen kunna användas för att förse flygplanen med flytande väte. Förslagsvis skulle ett sådant system leda flytande väte från ett centralt lager till gatorna där flygplanen kan tankas innan ombordstigning. Denna lösning kräver en betydligt mer omfattande infrastruktur och är mer tekniskt utmanande än tankbilslösningen, men anses vara nödvändig för större flygplatser. En utmaning är att hindra det flytande vätet från att förångas i de potentiellt långa rörledningar som en större flygplats kräver. Det skulle krävas att rören har mycket god värmeisolering, till exempel genom att rören är vakuumisolerade från omgivningen. Det behöver också finnas system på plats för att kunna hantera den gas som eventuellt förångas. Samtidigt får rörledningssystemet inte vara i vägen för andra aktiviteter på flygplatsen eller utgöra en säkerhetsrisk. Till sist finns det också utmaningar kopplade till att reglera tryck och flöde genom rörledningssystemet. En möjlig lösning från litteraturen till det sistnämnda problemet är att det finns en stationär tank med flytande väte vid varje gate. Tankarna skulle då fyllas med väte från rörledningssystemet och flygplanen skulle sedan kunna fyllas på från tankarna under mer kontrollerade former än utan tankar. Dock medför denna lösning att ännu mer infrastruktur krävs på flygplatsen.⁵¹

⁴⁹ Aerospace Technology Institute, "Hydrogen Infrastructure and Operations" 2022.

⁵⁰ Trafikanalys, "Luftfart," <https://www.trafa.se/luftfart/> [Använd 11 10 2022].

⁵¹ Aerospace Technology Institute, "Hydrogen Infrastructure and Operations" 2022.

Figur 10: Illustration av tankning med flytande väte från ett rörledningssystem vid gate.



2.6.4 Modulärt tankbytessystem

Ytterligare en föreslagen lösning för tankning med väte för flyg är att byta ut hela flygplanets bränsletank, vilket har föreslagits av Universal Hydrogen.⁵² Lösningen skulle kunna användas både för flytande väte och vätgas.⁵³ En fördel med denna typ av lösning är att befintlig utrustning och erfarenhet för hantering av gods på flygplatsen skulle kunna användas för detta, då bränsletanken praktiskt taget blir ett större gods som måste lastas av och på flyget efter landning och inför avgång.

Men även denna lösning har sina nackdelar. Liksom för tankbilsalternativet kräver lösningen en ökad mängd trafik på flygplatsen vilket skulle kunna bli ohållbart för större flygplatser. Ett problem som liknande lösningar har stött på (t.ex. batteribyteslösningar inom vägfordonsindustrin) är kring standardisering. Bränslemoduler måste vara kompatibla och utbytbara mellan en mängd olika flygplansmodeller av skiftande storlek och från olika tillverkare. Dels sätter detta en begränsning för hur flygplanen kan designas och dels behöver flygplanstillverkare komma överens om hur detta system skall utformas så att det kan bli standard. Detta hinder behöver nödvändigtvis inte vara lika stort som det har varit för fordonsindustrin då det finns färre aktörer inom flygindustrin.

⁵² Universal Hydrogen, "Regional Aircraft," <https://hydrogen.aero/product/> [Använd 11 10 2022].

⁵³ Composites World, "Universal Hydrogen Series A funding to build and test full-scale hardware for hydrogen commercial aircraft," 26 4 2021. <https://www.compositesworld.com/news/universal-hydrogen-series-a-funding-to-build-and-test-full-scale-hardware-for-hydrogen-commercial-aircraft> [Använd 11 10 2022].

Figur 11: Hur Universal Hydrogen föreställer sig sitt modulära tankbytessystem.⁵⁴

2.6.5 Konventionell tankning med vätgas

Idag finns redan etablerade och marknadsmogna lösningar för tankning med vätgas för mindre vägfordon. Samma eller liknande teknik skulle teoretiskt sett kunna användas för tankning av flygplan. För mindre sportflygplan använder man redan idag en lösning som påminner mer om hur vägfordon tankas, där flygplanen kör upp till en tankstation för att tanka.

Problemet med denna form av tankning är att den i nuläget endast tillåter tankning med vätgas (ej flytande väte) och att det tar förhållandevis lång tid att tanka då typiska påfyllningshastigheter för dagens vätgastankstationer är runt 1 kg H₂/min. Det innebär att det skulle ta flera timmar att tanka ett större flygplan, vilket inte är acceptabelt för kommersiella operationer. Teknik för snabbare tankning av vätgas är under utveckling,⁵⁵ men även med hastigheter upp mot 8 kg H₂/min är tankningstiden fortfarande alldeles för lång för större flygplan.

För kommersiella verksamheter är det därför osannolikt att denna form av tankning är acceptabel, men den kan vara ett bra alternativ för tidiga demonstrationsprojekt då det inte är lika känsligt med tankningstiden.

3 Hållbarhet och samhälle

3.1 Klimatpåverkan från vätedrivet flyg

Det huvudsakliga ändamålet med att använda väte som flygplansbränsle är att reducera flygindustrins klimatpåverkan. Användning av grönt väte orsakar inga direkta CO₂-utsläpp, men det finns också andra aspekter som måste tas hänsyn till för att bedöma klimatpåverkan som helhet. Forskning har till exempel visat att så kallade "contrails" (de långa moln som bildas efter flygplanets motorer) har klimatpåverkan.⁵⁶

I studien "Hydrogen-powered aviation" från 2020⁵⁷ används fyra mått för att skapa en uppskattad bedömning av direkt klimatpåverkan från väte

⁵⁴ Universal Hydrogen, "Regional Aircraft," <https://hydrogen.aero/product/> [Använd 11 10 2022].

⁵⁵ PRHYDE, "PRHYDE" 30 08 2021. <https://prhyde.eu/> [Använd 03 11 22]

⁵⁶ David J. Travis, Andrew M. Carleton, Ryan G. Lauritsen, "Climatology: Contrails reduce daily temperature range" Nature, nr 418, 2022.

⁵⁷ FCH JU, "Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050" 2020.

och andra flygbränslen. Dessa mått är direkta utsläpp av CO₂, utsläpp av NO_x, utsläpp av vattenånga och förmåga att bilda contrails. Det uppskattas att de direkta CO₂-utsläppen kan elimineras helt med väte jämfört med vanligt flygplansbränsle. Reduktionen av utsläpp av NO_x jämfört med vanligt flygplansbränsle beror på hur vätet används. Med bränsleceller är reduktionen av NO_x-utsläpp 100 procent, men för jetmotorer sjunker det med 50 till 80 procent. Utsläppen av vattenånga jämfört med vanligt flygplansbränsle förväntas öka med 150 procent om väte används i stället för vanligt flygplansbränsle. Dock anses klimatpåverkan från vattenånga vara betydligt lägre än för CO₂. Till slut konstateras det även att förmågan att bilda contrails jämfört med vanligt flygplansbränsle också minskar för väte, återigen beroende på hur det används. Minskningen är 60 – 80 procent för bränsleceller och 30 till 50 procent för jetmotorer. Sammanfattningsvis konstateras att den totala direkta klimat-påverkan av att använda väte jämfört med vanligt flygplansbränsle är 50 till 75 procent lägre för jetmotorer och 75 – 90 procent lägre för bränsleceller. I studien påpekas även att det krävs mer forskning inom detta område och att det fortfarande saknas kunskap kring detta. Studien beaktar endast de direkta utsläppen och är inte en fullständig livscykelanalys.

Andra studier inom området har också utförts som till exempel ”Can hydrogen or natural gas be alternatives for aviation? – A Life Cycle Assessment” från 2014⁵⁸ och ”Performance analysis of evolutionary hydrogen-powered aircraft” från 2022.⁵⁹ I allmänhet råder konsensus att väte är ett alternativ som signifikant kan reducera klimatpåverkan från flygindustrin, men de precisa implikationerna och påverkan måste studeras närmare. Varierande bedömningsmått och metodiker gör det dock svårt att jämföra resultat mellan studier och sammanfattningsvis kan det konstateras att förståelsen kring utsläpp från flyg måste förbättras. Andra hållbarhetsmässiga aspekter bör också studeras närmare, till exempelvis användningen av sällsynta jordartsmetaller för framställning av flygplan.

3.2 Energipolitik och samhällsekonomi

3.2.1 Minskat importberoende av fossila bränslen

Ett ämne som har blivit alltmer aktuellt sedan Rysslands invasion av Ukraina i februari 2022 är hur förnybar energi och vätgas kan användas för att minska Sveriges och Europas beroende av importerade fossila bränslen från andra länder. Detta är ett komplext ämne som endast kommer att diskuteras ytligt i detta avsnitt.

Konventionellt flygbränsle som Jet-A1 består i huvudsak av fotogen vilket är en produkt som deriveras från petroleumolja. Det betyder att även flygbränsle lider av samma problematik som bensin och diesel när det kommer till vem som kan producera och ha tillgång till bränslet. Som det framgår av Tabell 2 så är både Sverige och Europa som helhet starkt beroende av att importera flygbränsle.

Väte (använt som flygplansbränsle eller till andra ändamål) kan alltså vara ett sätt för Sverige och andra länder att minska beroendet av fossila bränslen importerade från andra länder, då det är möjligt att producera vätgas inom landets gränser med den förnybara energi som finns tillgäng-

⁵⁸ Sérgio Ramos Pereira; Tânia Fontes, Margarida C. Coelho, ”Can hydrogen or natural gas be alternatives for aviation? – A life cycle assessment” International Journal of Hydrogen Energy, vol. 39, nr 25, pp. 13266-13275, 2014.

⁵⁹ Jayant Mukhopadhyaya; Dan Rutherford, ”PERFORMANCE ANALYSIS OF EVOLUTIONARY HYDROGEN-POWERED AIRCRAFT” ICCT, 2022.

Tabell 2: Världens 10 största konsumenter av flygbränsle samt Sverige och Europa totalt⁶⁰

| Konsument | Land/Region | Förbrukning av flygbränsle (tusentals tunnor per dag) | Varav importerat (procent) |
|-----------|----------------|---|----------------------------|
| 1 | USA | 1398 | 3.9procent |
| 2 | Kina | 388 | 25.0procent |
| 3 | Ryssland | 279 | 0.0procent |
| 4 | Storbritannien | 242 | 59.9procent |
| 5 | Japan | 202 | 10.4procent |
| 6 | Tyskland | 187 | 54.5procent |
| 7 | Frankrike | 146 | 59.6procent |
| 8 | Singapore | 140 | 22.9procent |
| 9 | Brasilien | 126 | 25.4procent |
| 10 | Australien | 125 | 33.6procent |
| 40 | Sverige | 18 | 77.8procent |
| - | Europa totalt | 1139.5 | 55.7procent |

lig där. Det är inte rimligt att anta att alla länder helt och hållet kommer att kunna vara helt energioberoende med hjälp av vätgas. Tyskland antar till exempel i sin vätgasstrategi från 2020 att de i framtiden kommer behöva importera vätgas från andra länder.⁶¹ Det är dock troligt att flera länder skulle kunna minska sina behov av bränsleimport genom övergång till vätgas. Enligt Fossilfritt Sveriges vätgasstrategi från 2021 erbjuder vätgas en god möjlighet till ökad resiliens och minskat importberoende för Sverige.⁶²

3.2.2 Industriella satsningar på vätgas i norra Sverige och potentiella synergier för Umeå flygplats

I norra Sverige har ett flertal storskaliga industriella satsningar på vätgas annonserats ut. Tre av de största satsningarna är Hybrit och H2GreenSteel som avser att använda vätgas för att producera fossilfritt stål, samt Fertiberia som avser att producera ammoniak och fossilfritt gödningsmedel. En rad andra företag har även uttryckt intresse för att bistå med produktion och distribution av vätgas och förnybar el för vätgasproduktion. Det har beräknats att år 2050 kommer elenergibehovet för produktion av vätgas i norra Sverige vara 53 TWh per år. Även i Finland och Norge finns liknande planer för användning av vätgas.⁶³

För en flygplats belägen i norra Sverige skulle det därför kunna finnas synergifördelar med att använda väte som flygplansbränsle. Man skulle exempelvis kunna utnyttja befintlig infrastruktur för produktion, förvätskning och distribution av väte för att mer kostnadseffektivt få bränsle till flygplatsen. De mängder vätgas som förväntas krävas för de industriella processerna är många gånger högre än vad som Umeå flygplats skulle behöva (se senare avsnitt). Därför borde rimligtvis merkostnaden för att producera bränsle även till flygplatsen vara låg.

När det kommer till förvätskning av väte är det sannolikt så att behovet av väte för en enskild mindre flygplats inte är tillräckligt högt för att man skall kunna ha sin egen förvätskning av väte på flygplatsen utan att det

⁶⁰ Indexmundi.com, "Jet Fuel Production by Country" <https://www.indexmundi.com/energy/?product=jet-fuel&graph=production&display=rank> [Använd 12 10 2022]

⁶¹ Clean Energy Wire "Germany's National Hydrogen Strategy | Clean Energy Wire" [använd 230214].

⁶² Fossilfritt Sverige, "Strategi för fossilfri konkurrenskraft - vätgas" Fossilfritt Sverige, 2021.

⁶³ RISE; LTU, "Prestudy H²ESIN: Hydrogen energy system and infrastrucutre in Northern Scandinacia and Finland," 2022.

blir mycket dyrt.⁶⁴ Då blir symbios och samarbete med andra flygplatser och andra användningsområden av flytande väte mer betydelsefulla, då det kan leda till att man kommer upp i tillräckligt stora volymer för att förvätskning skall bli kostnadseffektivt. Exempel på andra användningsområden för flytande väte som har föreslagits är som bränsle för fartyg⁶⁵ och lastbilar.⁶⁶

4 Säkerhet och relaterade regelverk för väte på flygplatser

Detta avsnitt är en sammanfattning på svenska av den längre engelska rapport som skrivits om ämnet om vätesäkerhet på flygplatser: Paul Adams, RISE, "Hydrogen Safety In the Airport Environment", 2022. Den ursprungliga rapporten finns tillgänglig som bilaga.

Säkerhet är av hög prioritet för alla intressenter inom luftfartsindustrin. Under många årtionden har branschen transporterat, hanterat och använt flytande bränslen på ett säkert sätt med hjälp av rigorösa förfaranden och utbildningar. Denna solida grund kommer att vara ovärderlig för att stödja införandet av alternativa energibärare med egenskaper och relaterade risker som skiljer sig från de konventionella bränslen som branschen idag dagligen hanterar på ett säkert sätt. Säkerhetsarbetet i detta projekt är inriktat på hantering och lagring av väte på en mindre regional flygplats, det vill säga Umeå flygplats, och leverans av väte till flygplan.

Vätgas är en giftfri, icke cancerframkallande, icke ekotoxisk, icke korrosiv och extremt brandfarlig gas. Den är dessutom lättare än luft vilket gör den väldigt lättflyktig. Konventionella flygbränslen som Jet-A1 och energibärare som Li-ion-batterier är också farliga. Batterier kan ge upphov till bränder eller explosioner samt utsläpp av mycket giftiga förbränningsprodukter. Det viktigaste är att förstå skillnaden mellan riskerna med väte och riskerna med konventionella bränslen och energibärare, samt att minska riskerna genom att utveckla lämpliga tekniska och organisatoriska lösningar.

De specifika riskerna med väte är bland annat följande:

- Odetekterbart med människans sinnen.
- Inte kompatibelt med många vanliga metaller/legeringar.
- Läcker lättare än andra gasformiga bränslen eller ångor.
- Stark flytkraft/spridning som kan vara både positivt och negativt.
- Extremt lättantändligt.
- Flammor kan vara svåra att se i starkt ljus eller att känna strålningsvärme från, men de är lika heta som konventionella bränslen.
- Kraftiga deflagrationer (explosioner) är möjliga, och under vissa förhållanden kan allvarigare detonationer inträffa.
- Det finns särskilda risker i samband med lagring av vätgas som komprimerad gas, vanligtvis vid 700 bar för lagring ombord (bristning, jetutsläpp etc.), eller som kryogen vätska vid -253 °C (boil-off, långsammare spridning, BLEVE, cryo-hälsorisker etc.).

⁶⁴ RISE; AB Volvo, "Flytande väte som ett logistiskt bränsle – En förstudie," Energimyndigheten, Eskilstuna, 2022.

⁶⁵ Havyard, "Havyard Hydrogen" <https://www.havyard.com/brands--solutions/havyard-hydrogen/?preview=true> [Använd 31 10 2022].

⁶⁶ Graeme Roberts, "Daimler Truck trials liquid hydrogen" Just Auto, 27 06 2022. <https://www.just-auto.com/news/daimler-truck-trials-liquid-hydrogen/> [Använd 31 10 2022].

Även om de faror som är förknippade med väte skiljer sig från de faror som är förknippade med konventionella flygbränslen (JET A-1 och AVGAS100LL), kan riskerna som är förknippade med dessa faror inom luftfartindustrin hanteras på ett säkert sätt. Detta förutsätter dock att komponenterna och systemen utformas, specificeras, integreras, drivs och underhålls för väteanvändning snarare än för konventionella eller liknande bränslen.

4.1 Regelverk och standarder

Inom Europeiska unionen ansvarar EASA (European Union Aviation Safety Agency) för implementering av regler, godtagbara metoder för att följa reglerna och tillhörande vägledning.⁶⁷ EASA:s regler gäller för flygplatser men inte specifikt för väte.

I Sverige ansvarar Transportstyrelsen för luftfartssäkerheten, inklusive inrättande och drift av flygplatser. Reglerna för flygplatser (föreskrifter för flygplatser)⁶⁸ innehåller dock inga särskilda krav för transport, hantering eller överföring av flygbränslen på flygplatser.

ICAO (International Civil Aviation Organization), som är ett av FN:s specialiserade organ, publicerar standarder och rekommenderad praxis för flygplatser, bland annat "Annex 14, Aerodromes, Volume 1".⁶⁹ Men rekommendationerna (klausul 9.6) är begränsade till frågor på hög nivå och är tillämpliga på alla bränslen. För USA finns ytterligare vägledning i standarden NFPA 407^{70,71} som är relaterad till ICAO:s bilaga 14.

IATA (International Air Transport Association) publicerar riktlinjer för bränsleservice som behandlar specifikationerna för "Jet Fuel"-bränslen, hållbara flygbränslen, kvalitetsstandarder för bränsle, tankningsrutiner, kvalitet i leveranskedjan, utformning av bränslesystem för luftfartyg och underhåll av bränslesystem, men inget som omfattar väte.⁷²

JIG (Joint Inspection Group)⁷³ är en branschorganisation för utveckling av standarder för flygbränsleförsörjning för hela försörjningskedjan från raffinaderi till flygplan. På kort sikt planerar JIG inga specifika standarder för väte.⁷⁴

ISO (International Organization for Standardization) har tidigare publicerat en publik specifikation (Publicly Available Specification) ISO/PAS 15594:2004 "Airport hydrogen fuelling facility operations"⁷⁵, som dock drogs tillbaka 2016.

Sammanfattningsvis finns det många krav och standarder för tankning av flygplan med konventionellt flygbränsle, men det finns för närvarande inga som är specifikt publicerade för väte. Nya projekt och allianser på

⁶⁷ EASA, "Aerodromes" <https://www.easa.europa.eu/domains/aerodromes> [Använd 18 11 2022]

⁶⁸ Transportstyrelsen, "Regler för luftfart" <https://transportstyrelsen.se/sv/Regler/sok-ts-foreskrifter/?nonempty=true&q=TSFS&rulenummer=&trafikslag=air&serie=&typ=> [Använd 18 11 2022]

⁶⁹ ICAO, "Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations, Eighth Edition", juli 2018, https://www.iacm.gov.mz/app/uploads/2018/12/an_14_v1_Aerodromes_8ed_2018_rev.14_01.07.18.pdf [Använd 18 11 2022]

⁷⁰ Laurie Dragonas, "Fueling Inspections, International and FAA Fuel Fire Safety, ICAO Annex 14, Chapter 9", Pres. to: ICAO / FAA Aerodrome Certification Inspectors Workshop for the Caribbean Region, FAA, June 2012. <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2012/ICAOFAAAGACertification2012/ICAOFAAACertification14.pdf> [Använd 18 11 2022]

⁷¹ NFPA, "Standard for Aircraft Fuel Servicing", Current Edition: 2022 <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=407> [Använd 18 11 2022]

⁷² IATA, "Fuel Servicing Guidance Materials" <https://www.iata.org/en/publications/store/fuel-efficiency-guidelines/> [Använd 18 11 2022]

⁷³ Joint Inspection Group <https://www.jig.org/> [Använd 18 11 2022]

⁷⁴ Kommunikation med Joint Inspection Group (JIG), juli 2022.

⁷⁵ ISO, "ISO/PAS 15594:2004 Airport hydrogen fuelling facility operations" <https://www.iso.org/standard/28327.html> [Använd 18 11 2022]

européisk nivå har dock skapats för att ta itu med detta behov. Det mest signifikanta av dessa är AZEA (Alliance for Zero Emission Aircraft) som syftar till att på ett övergripande sätt identifiera och prioritera de utmaningar som flygplan med nollutsläpp innebär, och föreslå praktiska lösningar för att övervinna dem.

När det gäller vätgasanläggningar på flygplatsen har Sverige ännu inte några särskilda rättsliga krav på stationära eller industriella vätgasanläggningar. Sådana installationer skulle dock behöva uppfylla en lång rad relaterade rättsliga krav, till exempel ATEX, som inte omfattas av denna inledande studie.

Det kommer att behöva göras en detaljerad bedömning av om befintliga bestämmelser och standarder är tillämpliga för både väte- och luftfartssektorn.

4.2 Väte inom flygplatsmiljön

Hanteringskedjan för väte på flygplatsen måste utvärderas ur ett säkerhetsperspektiv och omfattar följande:

- Användning av flytande eller komprimerat gasformigt väte, eller båda.
- Produktion av vätgas på plats eller utanför platsen och komprimering eller förvätskning vid behov (behandlas ej i detalj i denna rapport).
- Leverans av vätgas till flygplatsen (med tankbil, rörledning eller fartyg/pråm).
- Bulklagring av vätgas på flygplatsen, inklusive provtagning.
- Överföring av vätgas från bulklager till flygplan (tankbilar eller rörledning till en eller flera uppställningsplatser).
- Tankning av flygplanet.
- Lagring av vätgas ombord på flygplan och avgaser/ventiler (behandlas ej i detalj i denna rapport).
- Nödåtgärder.

Som tidigare diskuterats i denna rapport finns det flera tekniska utmaningar med att hantera väte som bränsle på flygplatsen. Det handlar bland annat om att kunna hantera de stora volymer bränsle som krävs, att försöka förhindra så kallad "boil-off" (att det flytande vätet förångas och går förlorat) samt att hålla "turn around"-tiderna på en rimlig nivå.

Tankning av vätedrivna flygplan kommer att medföra svåra utmaningar för den etablerade "turn around"-processen, inklusive risk för längre "turn around"-tider, större krav på säkerhetsavstånd till tankningsplatserna och behovet av ny teknik på flygplatsens område. De första studierna av projektet FlyZero tyder på att dessa utmaningar kan hanteras genom att möjliga tankningsscenarioer använder större eller flera bränslebehållare.⁷⁶ All verksamhet som ökar trängseln på flygplatsområdet eller ökar fordonsrörelserna runt flygplanet ökar dock risken för personskador, skador på utrustning och flygplan samt risken för att en sådan incident utlöser ett utsläpp av väte med ett brett spektrum av potentiellt allvarliga konsekvenser. En säkerhetsanalys måste ta hänsyn till många faktorer, till exempel om flygplanet skall tankas med passagerare ombord eller om andra markoperationer skall äga rum samtidigt, och om flygplanet kan tankas säkert vid ställen som ligger i anslutning till flygplatsbyggnaderna eller endast på avlägsna belägna ställen.

⁷⁶ Aerospace Technology Institute, "Hydrogen Infrastructure and Operations" 2022.

Tidigare studier som undersökt säkerheten för vätedrivna flygplan och vätetankning på flygplatser har kommit fram till att de risker som är förknippade med de faror som är kopplade till vätgasens speciella egenskaper kan hanteras på ett säkert sätt.^{77,78,79,80}

En viktig säkerhetsfördel med väte på en flygplats är att det inte finns någon risk för förorening av marken i händelse av att bränsle skulle spillas. Med konventionella bränslen eller drop-in-bränslen finns det en risk för förorening av marken eller grundvattnet om ett spill inträffar, medan detta inte skulle vara fallet om ett utsläpp av gasformig vätgas eller ett spill av flytande vätgas inträffade. Dessutom skulle utsläpp eller spill av väte spridas ut i luften mycket snabbare än motsvarande spill av Jet A-1 eller AVGAS100LL.

Säkerhetsavstånd för bulkförvaringsanläggningar med väte i förhållande till byggnader och andra flygplatsanläggningar eller utrustning måste beaktas. Internationellt sett finns det en stor variation i säkerhetsavstånd och det syfte som de är avsedda att tjäna, till exempel om de är avsedda att skydda angränsande byggnader eller anläggningar från en vätgasbrand eller att skydda vätgasanläggningen från bränder i angränsande anläggningar. I en nyligen publicerad norsk rapport anges att en permanent lagringsanläggning för komprimerad vätgas på 5 ton kan kräva säkerhetsavstånd på 60 meter i alla riktningar, beroende på åtgärder för att mildra effekterna och platsens egenskaper.⁸¹

FlyZero-projektet⁸² undersökte säkerhetsavstånd för andra industrier och fann att om de överfördes till den civila luftfartssektorn skulle säkerhetszoner på 20 - 60 meter kunna krävas på grund av närheten till allmänheten. De första FlyZero-studierna som utförts av den brittiska hälso- och säkerhetsmyndigheten tyder dock på att det kan krävas en säkerhetszon på 20 meter vid anslutning och frånkoppling av vätgasdrivmedelsslångarna till flygplanet, men om tester och bedömningar genomförs på ett tillfredsställande sätt kan detta avstånd minska till 8 - 10 meter när anslutningen väl är säker. Undersökningen anger dock inte om passagerare kan befinna sig ombord under tankning eller inte.

4.3 Organisatoriska åtgärder och rutiner på flygsidan

Eftersom säkerheten är en viktig prioritering för alla intressenter inom luftfartsindustrin kommer den att utgöra en bra grund för att stödja införandet av väte med de särskilda förfaranden och den utbildning som kommer att krävas. När det gäller flygplatsverksamheten kommer en av de viktigaste åtgärderna vara att undvika att det bildas oönskade brännbara väte/luftblandningar, och om förbränning uppstår, att alla som berörs förstår de särskilda skillnaderna som finns mellan en brand med väte och en brand med konventionella bränslen.

Eftersom många olyckor sker på grund av mänskliga fel kan säkerheten förbättras om sådana fel kan undvikas, antingen med tekniska medel eller genom lämpliga operativa förfaranden och utbildning. Olika flygplatser

⁷⁷ Airports Council International, Aerospace Technology Institute, "Integration of Hydrogen Aircraft into the Air Transport System: An Airport Operations and Infrastructure Review" 2020.

⁷⁸ Airbus Deutschland GmbH, "Final Technical Report, CRYOPLANE", Sept. 2003 https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgIrr/hh/text_2004_02_26_Cryoplane.pdf [Använd 18 11 2022]

⁷⁹ Schmidtchen et al., "Hydrogen aircraft and airport safety", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 1, Iss. 4, Dec. 1997, pp239-269 <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S1364032197000075> [Använd 18 11 2022]

⁸⁰ Ingrid Bye Løken, "Hydrogen supply to Norwegian airports, Logistics and market prefeasibility study", Report No. 2022-0463, DNV Energy Systems, 4/22/2022.

⁸¹ Ingrid Bye Løken, "Hydrogen supply to Norwegian airports, Logistics and market prefeasibility study", Report No. 2022-0463, DNV Energy Systems, 4/22/2022.

⁸² Aerospace Technology Institute, "Hydrogen Infrastructure and Operations" 2022.

kännetecknas av sina unika syften och det antal säkerhetskritiska operationer som måste genomföras. Flera uppgifter i olika skeden sker parallellt för att betjäna flera flygningar med olika flygplanstyper och ett stort antal enskilda organisationer är inblandade och sammanlänkade genom ett komplext nät av avtalsförhållanden. Dessa komplexa interaktioner måste beaktas när vätefarliga risker minskas genom organisatoriska lösningar.

Följande frågor och eventuella särskilda åtgärder som identifieras i framtida säkerhetsanalyser måste behandlas för att underlätta en säker användning av väte på flygplatsen:

- Flygplatsorganisationen och olika organisationers ansvarsområden bör tydligt definieras när det gäller leverans, lagring, tankning och användning av väte på flygplatsen, inklusive underhåll och nödåtgärder.
- Skräddarsydda utbildningar eller kvalifikationer för specifika roller, från allmän medvetenhet till detaljerad utbildning i drift av vätesystem, inklusive tankning och säkerhetsåtgärder, t.ex. brandbekämpnings- och räddningstjänster, leverantörer av marktjänster och bränsletjänster.
- Ett system för tillstånd att driva system för vätetankning.
- Ett system för arbetstillstånd för underhåll av vätedrivna flygplan och tankningsutrustning.
- Rapportering av incidenter med väte.
- Förbättrade underhållsförfaranden, t.ex. testning av läckage eller rening förfaranden för både flygplan och tankningsanläggningar.
- Förfaranden och information om nödsituationer som skall tillhandahållas den lokala brand- och räddningstjänsten.
- Förfaranden för hur man skall agera om det uppstår ett väteutsläpp eller en brand, alternativt efter en olycka eller brand som berör flygplanet eller tankningsutrustningen.

Införandet av väte kommer att kräva en översyn av brandbekämpnings- och räddningsrutinerna, som kan behöva anpassas för att hantera de särskilda egenskaperna hos utsläpp eller bränder med väte. Brand- och räddningsskyddets roll under insatser vid en incident eller olycka kan komma att förändras. Riskerna för explosioner, särskilt i slutna utrymmen, måste beaktas.

I dagsläget är regelverk inte uppdaterade för väte vilket betyder att det inte heller finns nya flygplatsspecifika beslut relaterat till vätedrivet flyg och de krav på släckmedelstyper eller mängder som måste finnas. Branschen inväntar således de uppdateringar av regelverket kopplat till vätgasflyget som skall göras av ICAO och EASA.

4.4 Slutsatser och rekommendationer gällande vätgas-säkerhet

Väte har använts på ett säkert sätt under många årtionden i flera tillämpningar, bland annat inom process- och rymdindustrin. Trots detta finns det fortfarande en negativ uppfattning om väte som hänger samman med Hindenburgolyckan 1937. Trots den enorma mängden vätgas (16 ton) skedde ingen explosion, utan det mesta av vätgasen flydde ut och brann snabbt. I många delar av världen har äldre medborgare redan erfarenhet av daglig användning av vätgas i form av stadsgas (vilket består av cirka 50 procent vätgas). Stadsgas användes i stor utsträckning för hushållsändamål fram till 1970-talet då den ersattes av naturgas.

Vätgas är en farlig gas, men konventionella flygbränslen (Jet A-1 och AVGAS100LL) är också farliga. De faror som är förknippade med väte skiljer sig avsevärt från de faror som är förknippade med konventionella flygbränslen. Vissa egenskaper hos väte gör den farligare än konventionella flygbränslen, medan andra egenskaper gör den säkrare. Ur ett säkerhetsperspektiv finns det inga oöverstigligen hinder för användningen av väte som bränsle för kommersiell luftfart (lagrat antingen som komprimerad gas eller vätska).

Det finns dock ett antal utmaningar som måste övervinnas för att garantera att säkerheten är minst likvärdig med konventionella flygbränslen och att de risker som är förknippade med vätets särskilda egenskaper kan minskas till säkra nivåer. Denna ståndpunkt har också intagits i ett antal tidigare studier.^{83,84,85,86} Nyckeln till ett framgångsrikt och säkert införande av väte som bränsle för kommersiell luftfart är att förstå att de risker som är förknippade med väte, oavsett om den lagras som gas eller kryogen vätska, skiljer sig mycket från riskerna med konventionella flygbränslen och liknande bränslen som har använts i andra branscher, till exempel komprimerad eller kondenserad naturgas. Komponenter och system måste utformas och integreras på grundval av de särskilda farorna med väte och vätefokuserade förfaranden måste utarbetas för drift, inspektioner, underhåll och nödåtgärder. Dessa skillnader måste införlivas i relevanta rättsliga krav och standarder. Med tanke på den civila luftfartsindustrins karaktär måste de rättsliga kraven och förfarandena harmoniseras internationellt. De utmaningar som är förknippade med säker användning av väte har framgångsrikt hanterats av andra branscher, däribland rymdindustrin, så den civila luftfartsindustrin bör lära sig av befintliga rättsliga krav, standarder och förfaranden och anpassa dem till flygplatsmiljön.

Om väte används som en del av ett helt elektriskt framdrivningssystem för flygplan kommer det att finnas risker i samband med de batterier som används i systemet, vilka endast beaktas som en del av en översyn på hög nivå i denna rapport. Fler undersökningar av eventuella ytterligare risker med samlokalisering av infrastruktur för batteriladdning och vätetankning bör göras i en framtida studie.

⁸³ Airports Council International, Aerospace Technology Institute, "Integration of Hydrogen Aircraft into the Air Transport System: An Airport Operations and Infrastructure Review" 2020.

⁸⁴ Airbus Deutschland GmbH, "Final Technical Report, CRYOPLANE", Sept. 2003 https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgfr/hh/text_2004_02_26_Cryoplane.pdf [Använd 18 11 2022]

⁸⁵ Schmidtchen et al., "Hydrogen aircraft and airport safety", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 1, Iss. 4, Dec. 1997, pp239-269 <https://www.science-direct.com/science/article/pii/S1364032197000075> [Använd 18 11 2022]

⁸⁶ Ingrid Bye Løken, "Hydrogen supply to Norwegian airports, Logistics and market prefeasibility study", Report No. 2022-0463, DNV Energy Systems, 4/22/2022.

Gällande markverksamheten på flygplatserna har en ACI-rapport⁸⁷ identifierat en omfattande lista över viktiga frågor som måste behandlas:

- Definition av säkerhetsavstånd i samband med flygplatsmiljön, dvs. vad är dess syfte?
- Utvärdering av bränsletransport och bränsleöverföring.
- Säkerhetsavstånd runt fasta tankningsanläggningar, t.ex. bulklager.
- Utvärdering av tankning parallellt med andra marktjänster, t.ex. vid ombordstigning och avstigning, samt eventuella extra förfaranden under "turn around"-processen.
- Säkerhetsavstånd runt tankningspunkten, som beroende på flygplanets konstruktion kanske inte är på vingarna som för konventionella flygplan.
- Säkerhetens inverkan på andra marktjänster, t.ex. vid ombordstigning eller avstigning, samt eventuella extra förfaranden under vändprocessen.
- Utveckling av rutiner för upptäckt av läckor eller bränder, hantering och nödåtgärder, baserat på benchmarking av andra branscher och anpassning till flygplatsmiljön.
- Utveckling av nödförfaranden och utrustning i händelse av att väteslangar dras ut eller att läckage blandas med andra farliga ämnen.
- Utvärdering av tankning av ett vätedrivet flygplan vid en gate samtidigt som ett konventionellt Jet A-1-flygplan tankas i närheten.
- Utvärdering av hur vinterverksamhet eller andra särskilda väderförhållanden kommer att påverka flygplatsverksamheten relaterat till vätedrivna flygplan.
- Utvärdering och utveckling av säkra underhållsförfaranden, t.ex. om flygplanets tankar måste tömmas helt och hållet.
- Hantering av avkokning (boil-off) i system för flytande väte (markutrustning och flygplan).
- Förfaranden för underhåll inomhus.
- Personalens kvalifikationer och utbildning för räddnings- och brandbekämpningstjänster, leverantörer av marktjänster och bränsleleverantörer.

Även om det behövs omfattande säkerhetsanalyser finns det för närvarande för många okända faktorer för att genomföra en fullständig analys av användningen av väte på regionala flygplatser. En sådan kan dock vara ett möjligt nästa steg för specifika delar, som till exempel bulklagring eller bränsletransport/överföring på flygplatsen. Olika flygplanskonstruktioner kan påverka säkerhetsåtgärderna, exempelvis tanknings- och ventilationsställets placering i förhållande till monteringen och närliggande byggnader. Preliminära säkerhetsanalyser skulle kunna genomföras för att identifiera riskerna och lämpliga åtgärder för att minska riskerna för de frågor som identifierats ovan. Säkerhetsanalyserna skulle göra det möjligt att utveckla olika åtgärder för att minska säkerhetsavstånden och begränsa eventuella negativa effekter på turn around tiderna. I samband med ovanstående måste även relevanta utbildningar och organisatoriska åtgärder av flygplatspersonalen och av personal som hanterar väte inom flygplatsmiljön uppdateras eller tas fram.

⁸⁷ Airports Council International, Aerospace Technology Institute, "Integration of Hydrogen Aircraft into the Air Transport System: An Airport Operations and Infrastructure Review" 2020.

Ett grundläggande krav för att den vätedrivna civila luftfarten skall bli framgångsrik är att väte kan hanteras på ett säkert, effektivt och internationellt standardiserat sätt på flygplatsen. Befintliga rättsliga krav för hantering av bränsle på flygplatser är inte anpassade till de särskilda riskerna med väte och hur de skiljer sig från riskerna med konventionella bränslen. Nyckeln till en säker introduktion av väte är att förstå skillnaderna mellan riskerna med konventionella flygbränslen och väte. Ur ett säkerhetsperspektiv finns det inga oöverstigliga hinder för att väte skall kunna hanteras på ett säkert sätt inom den civila luftfartsindustrin, och industrin har många fördelar jämfört med andra industrier på grund av den säkerhetskritiska, välkontrollerade och säkra miljön. Andra branscher har länge hanterat väte på ett säkert sätt och luftfartsindustrin kan lära sig av dem för att utveckla säkra förfaranden för flygplatsverksamhet. Relevanta svenska myndigheter och organisationer inom den civila luftfartsindustrin tillsammans med dem som har kompetens inom vätgassäkerhet bör delta i initiativ som Alliance for Zero Emission Aviation (AZEA) eller standardiseringsorgan för att gemensamt skapa nödvändiga möjliggörande bestämmelser eller internationella standarder (Swedavia är medlem i AZEA sedan september 2022).

5 Två framtidsscenarioer för vätedrivet flyg på Umeå flygplats

I detta avsnitt av rapporten presenteras två framtidsscenarioer för hur vätedrivet flyg kan komma att användas på Umeå flygplats (UME). Syftet med dessa scenarier är att ge läsaren en översikt över hur vätedrivet flyg skulle kunna fungera i praktiken och de förutsättningar som krävs för att genomföra det.

Allra först i detta avsnitt introduceras grundläggande bakgrundsinformation om UME. Efter det presenteras scenarierna "Fullskalig reguljär vätedriven linjetrafik på UME" och "Vätedrivet demonstrationsflyg på UME". Det första scenariot illustrerar en möjlig framtid där reguljär linjetrafik från UME helt och hållet drivs med väte som bränsle. Det andra scenariot visar hur en första lämplig introduktion av vätedrivet flyg på UME skulle kunna se ut.

5.1 Bakgrund

Umeå flygplats, belägen i den södra delen av staden precis vid Umeälven, är Sveriges sjunde största flygplats efter antal passagerare i linje- och chartertrafik.⁸⁸ UME används i denna studie som exempelobjekt för att illustrera hur en omställning till vätedrivet flyg skulle kunna se ut på en svensk flygplats.

5.1.1 Flygtrafik på UME innan Covid-19

Covid-19 pandemin har haft stor inverkan på flygindustrin. Till exempel passerade det innan pandemin årligen cirka en miljon passagerare genom UME.⁸⁹ Under pandemiåren 2020 och 2021 var flygtrafiken betydligt lägre och endast cirka 300 000 passagerare passerade genom UME per år. Eftersom världen och flygindustrin fortfarande befinner sig i återhämtning efter pandemin används för denna studie, i den mån det går, främst data

⁸⁸ Trafikanalys, "Luftfart 2021" 2022.

⁸⁹ Trafikanalys, "Luftfart" <https://www.trafa.se/luftfart/> [Använd 11 10 2022].

med "normal" flygtrafik från åren innan pandemin. UME används framför allt för inrikes flygtrafik. Sett både till passagerartrafik och antal landningar/avgångar är mer än 90 procent av trafiken från inrikes flyg och den vanligaste sortens flygning till UME, sett till antal landningar i nedåtstigande ordning, är inrikes linjetrafik, övrig flygverksamhet,⁹⁰ utrikes linjetrafik och taxifyg.

Tabell 3: Flygtrafik till UME i antal landningar.

| År | Linjetrafik | | Taxifyg | Övrig flygverksamhet ⁸⁹ | Totalt |
|------------|-------------|-------------|------------|------------------------------------|--------|
| | Utrikes | Inrikes | | | |
| 2019 | 491 | 5 620 | 213 | 3 828 | 10 152 |
| 2018 | 543 | 6 872 | 281 | 3 940 | 11 636 |
| 2017 | 466 | 7 486 | 278 | 3 608 | 11 838 |
| 2016 | 281 | 8 031 | 299 | 3 670 | 12 281 |
| 2015 | 417 | 6 883 | 286 | 3 602 | 11 188 |
| Genomsnitt | 440 | 6 978 | 271 | 3 730 | 11 419 |
| Andel | 3.8procent | 61.1procent | 2.4procent | 32.7procent | |

Utifrån registrerade avgångar under en period i september 2022 (se Appendix) kan också följande information om avgångarna från UME härledas. För inrikes är den absolut vanligaste destinationen Stockholm (med flygningar både till Arlanda och Bromma), cirka 85 procent av alla avgångar från UME landar i Stockholm. Utöver detta sker även flygningar till Åre, Östersund och till Karleby/Jakobstad i Finland. Vid vissa tillfällen, cirka en gång i veckan, förekommer det en charterflygning till Grekland eller liknande destinationer. Det är huvudsakligen tre olika typer av flygplan som används i den reguljära linjetrafiken, "Short range, 150 Pax", "Turboprop regional, 80 Pax" och "Commuter, 20 Pax", vilka redovisas i Tabell 4 nedan.

Tabell 4: Flygplanstyper förekommande i reguljär linjetrafik från UME.

| Flygplanstyp | Short range, 150 Pax | Turboprop regional, 80 Pax | Commuter, 20 Pax |
|-------------------|----------------------|----------------------------|------------------|
| Exempel-modeller: | Airbus A320neo | ATR 72-500 | Beechcraft 1900C |
| | Boeing 737-800 | CRJ 900 | |

5.2 Framtidsscenario: Fullskalig reguljär vätedriven linjetrafik på UME

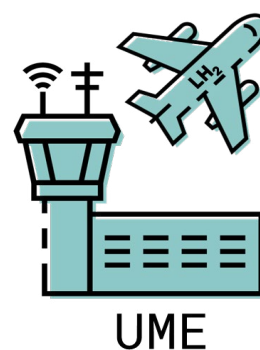
I detta scenario illustreras en möjlig framtid där all reguljär linjetrafik på UME drivs av väte. På många sätt är UME en flygplats som är väl lämpad för vätedrivet flyg. Majoriteten av alla flygningar till och från UME är regionala eller kortdistans, vilket anses vara de kategorier av flygningar som är mest lämpade till vätedrivna flygningar på kort till medellång sikt. UME är också en tillräckligt liten flygplats för att bränslelogistiken för hantering av vätet inte borde vara allt för begränsande och tidsödande. Till slut talar även de lokala förutsättningarna för användning av väte på UME. Tillgången och kostnaden för förnybar el (en grundläggande förutsättning för produktion av grön vätgas) är god i norra Sverige. Samtidigt finns det flera industriella satsningar på grön vätgas som kan ge synergieffekter för vätgasproduktion. Dessa industriella satsningar kan också komma att leda till ökat resande till norra Sverige, vilket flygplatsen kan tillgodose.

⁹⁰ Privatflyg, skolflyg, aerial work och militär

Ett grundläggande antagande som används i detta scenario är att flygplanen alltid tankar på flygplatsen innan avfärd. Vätedrivna flygplan som landar på UME har alltså redan tankat med väte vid avreseorten. Detta innebär att andra flygplatser, i detta fall främst Arlanda, också förutsätts ha tillräcklig infrastruktur för tankning med flytande väte för flygplanen. När vätebehovet beräknas för UME utgår det endast från avgångar från UME. Detta innebär även att om scenariot skall fungera i praktiken krävs det att de flygplatser som det flygs till och från också har rätt infrastruktur för att kunna tanka vätedrivna plan. Andra förutsättningar för scenariets realiserbarhet är tillgången till förnybar el och teknologi. Baserat på tidigare studier och ambitioner hos företag som ZeroAvia, Airbus och Universal Hydrogen verkar det troligt att detta scenario är realiserbart runt 2040 eller senare. Det är tänkbart att både bränsleceller och turbojet-motorer skulle kunna användas för framdrift av flygplanen.

Tabell 5: Sammanfattning av framtidsscenario: Fullskalig reguljär väteriven linjetrafik på UME.

| Framtidsscenario: Fullskalig reguljär vätedriven linjetrafik på UME | |
|---|---|
| Realiserbart: | År 2040+ |
| Antal avgångar per dag: | 5 – 17 avgångar per dag |
| Bränsle: | Flytande väte |
| Bränslebehov: | 3000 – 7500 kg LH2/dag |
| Bränslelager: | 9000 kg LH2 |
| Bränsleförsörjning till flygplatsen: | Produktion vid annan ort, transport till flygplatsen via väg eller vatten |
| Bränslelogistik på flygplatsen: | Tankning av flygplanen m.h.a. tankbilar |
| Energibehov för bränsleframställning: | 140,3 GWh förnybar el per år |



5.2.1 Behov av väte och energi till flygtrafiken

Till den reguljära linjetrafiken från UME räknas alla flygningar med flygplanstypen "Short range airliner, 150 Pax" till Arlanda, alla flygningar med flygplanstypen "Turboprop regional airliner, 80 Pax" och alla flygningar med "Commuter, 20 Pax" till Åre/Östersund och Karleby/Jakobstad. För att beräkna hur mycket väte som krävs för att driva de olika flygplanstyperna per kilometer används den metod som finns beskriven i appendix. I detta avsnitt presenteras endast resultaten från dessa beräkningar.

För att flyga från UME till Arlanda med ett flygplan av typen "Short range airliner, 150 Pax" förväntas det behövas cirka 600 kg H₂ i ren bränsleförbrukning. Då mellan 4 – 10 flygningar av denna sort förekommer per dag med ett snitt på 8.2 per dag blir den genomsnittliga bränsleförbrukningen för denna kategori 4 900 kg H₂ per dag. För kategorin "Turboprop regional airliner, 80 Pax till Bromma" är bränsleförbrukningen 437 kg H₂ per flygning och det förväntas i genomsnitt krävas cirka 1 000 kg H₂ per dag för kategorin. Flygningarna med flygplanstypen "Commuter, 20 Pax" förväntas förbruka 103 och 49 kg H₂ för flygningar till Åre/Östersund respektive Karleby/Jakobstad. Den totala bränsleförbrukningen för flygplatsens reguljära linjetrafik beräknas variera mellan cirka 3 000 och 7 500 kg H₂ med ett genomsnitt på 6 150 kg H₂ per dag.

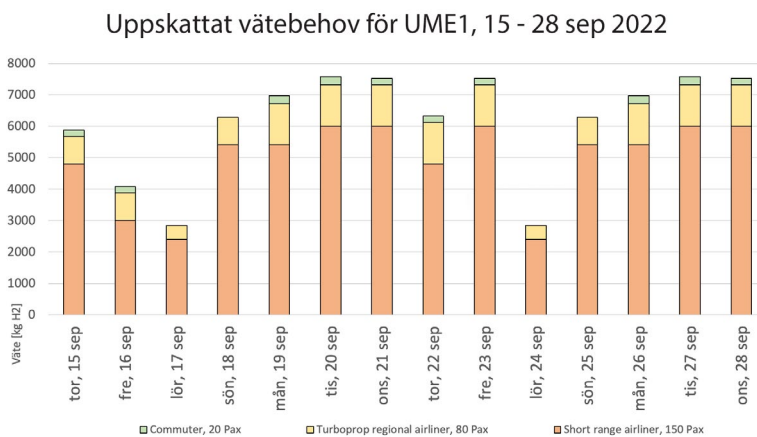
Då det krävs cirka 50 kWh elektricitet för att producera ett kilo vätgas och cirka 12.5 kWh för att förvätska ett kilo vätgas till flytande väte blir det

totala energibehovet av förnybar el för att förse flygplatsen med sitt bränsle cirka 140,3 GWh per år. Det motsvarar ungefär den årliga energi-produktionen från 22 genomsnittliga vindkraftverk (motsvarande totalt 50 MW installerad effekt).⁹¹

Tabell 6: Bränslebehov för olika typer av flygningar från UME.

| Typ av flygning/ Kategori | Avstånd till destinationen | Bränslebehov per flygning | Antal avgångar per dag (snitt) |
|--|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Short range airliner, 150 Pax till Arlanda | 511 km | 600 kg H ₂ | 5 - 17 (12.5) |
| Turboprop regional airliner, 80 till Bromma | 478 km | 437 kg H ₂ | 5 - 13 (10.6) |
| Commuter, 20 Pax till Äre/Östersund | 295 km | 103 kg H ₂ | 0 - 2 (1.4) |
| Commuter, 20 Pax till Karleby/Jakobstad | 140 km | 49 kg H ₂ | 0 - 1 (0.3) |

Figur 12: Beräknad bränsleförbrukning av väte från UMEs reguljära linjetrafik.



5.2.2 Bränslelogistisk

Det mest rimliga alternativet för att få allt nödvändigt flygbränsle till flygplatsen är genom import av flytande väte. Flygplanens och flygplatsens behov av väte är för stort för att det rimligtvis skall gå att lösa med endast trycksatt vätgas, alltså krävs flytande väte. Eftersom det finns stora satsningar på vätgas i den omkringliggande regionen finns möjligheten att utnyttja synergier på annan ort och på så sätt få bättre lönsamhet än om flygplatsen själv skulle producera och förvätska gasen. Det har uppskattats att år 2040 kommer det totala behovet av vätgas i norra Sverige vara 41 TWh per år⁹² (motsvarar 3 370 ton vätgas per dag), behovet av väte för UME skulle inte ens utgöra en procent utav detta. Därför framstår det som rimligt att producera och förvätska allt bränsle som flygplatsen behöver någonstans inom regionen och sedan distribuera den till flygplatsen.

Flygplatsen behöver kunna ta emot runt 3 500–7 500 kg H₂ per dag, men kräver även förmågan att kunna lagra en del väte. Ett typiskt lager för flytande vätgas (s.k. dewar) som redan finns på den kommersiella marknaden kan rymma 4 500 kg H₂.⁹³ Två sådana lager kan rymma tillräckligt med flytande väte för att täcka en dags bränslebehov ifall bränsleleveranser skulle utebli under en dag.

⁹¹ Energimyndigheten, "Energiläget" 2022.

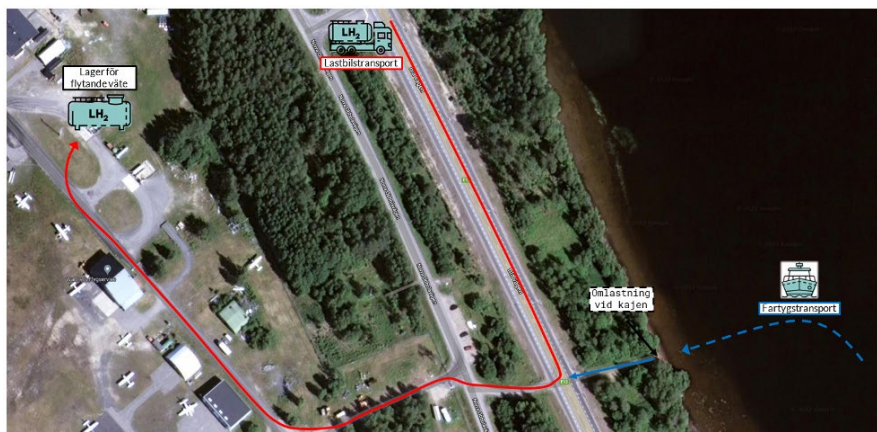
⁹² RISE; LTU, "Prestudy H2ESIN: Hydrogen energy system and infrastrucutre in Northern Scandinacia and Finland" 2022.

⁹³ Ian Neeser, "LIQUID HYDROGEN BULK STORAGE INTRODUCTION" <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Liquidprocent20H2pro-cent20Workshop-Chart.pdf> [Använd 11 10 2022].

Det finns två möjligheter för hur det flytande vätet kan transporteras till flygplatsen. Flygplatsen har goda vägförbindelser då den är belägen i utkanten av staden, europamotorväg E12 leder rakt till flygplatsen och idag används redan lastbilstransporter för att förse flygplatsen med konventionellt flygbränsle. Av denna anledning bör vägtransport vara det primära valet för att få det flytande vätet till flygplatsen. En lastbilstrailer för flytande väte kan rymma upp till 4 000 kg H₂⁹⁴ vilket innebär att det dagligen skulle krävas 1–2 leveranser.

En annan möjlighet är att utnyttja flygplatsens läge precis intill Umeälven genom att frakta flytande väte via fartyg till flygplatsen. Denna lösning är något mer okonventionell och skulle kräva att en pir/lastplats för fartyget inrättas vid älven. Det finns exempel på fartyg som transporterat flytande väte i demonstrationssyfte,⁹⁵ men i övrigt är detta inte ett etablerat alternativ om än ett tänkbart. Fartyget skulle sannolikt kunna ha större kapacitet än en lastbil och det borde därför krävas mycket färre leveranser. Fördelar med denna lösning jämfört med lastbilstransport är framför allt att man undviker att använda bilvägarna. På så sätt är man mindre påverkad av eventuell trafik och man undviker att ha brandfarlig vara (vilket vätet är) på allmän plats, vilket är säkrare.

Figur 13: Föreslagna transportrutter för flytande väte till UME.



För tankning av själva flygplanen är den rimligaste lösningen att använda mindre tankbilar som kör ut till flygplanen och tankar dem. UME är internationellt sett fortfarande en förhållandevis liten flygplats och det bör inte bli några större problem med trafik på flygplatsen.

5.3 Framtidsscenario: Vätedrivet demonstrationsflyg på UME

Detta scenario illustrerar ett exempel på hur ett första vätedrivet demonstrationsflyg på UME skulle kunna realiseras. Redan idag finns det runt om i världen ambitioner att inom de kommande 2–3 åren påbörja flygningar av mindre vätedrivna flygplan.⁹⁶ Förutsättningarna för att utföra ett sådant demonstrationsprojekt finns även på UME och i detta avsnitt visas det hur en sådan demonstration skulle kunna utföras. Idag finns det framför allt en reguljär linjeflygning som skulle kunna flygas med väte redan inom några år. Möjligheten finns även att utöka detta till flera flygningar och andra flygplatser.

⁹⁴ RISE; AB Volvo, "Flytande väte som ett logistiskt bränsle – En förstudie" Energimyndigheten, Eskilstuna, 2022.

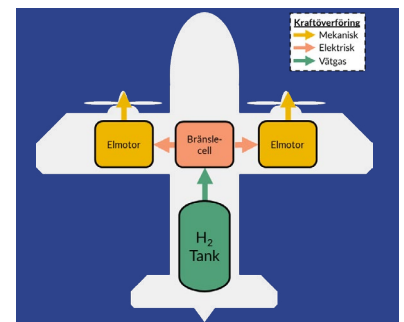
⁹⁵ Hydrogen Energy Supply Chain, "The Suiso Frontier" 2022. <https://www.hydrogenenergysupplychain.com/supply-chain/the-suiso-frontier/> [Använd 31 10 2022].

⁹⁶ ZeroAvia, "ZeroAvia.com" <https://www.zeroavia.com/> [Använd 11 10 2022].

Fördelen med ett demonstrationsprojekt som detta skulle vara att det demonstrerar de möjligheter och fördelar som finns med att använda väte som flygbränsle. Det hjälper även till med att skapa erfarenhet och kunskap. Denna kunskap kan användas för att utveckla rutiner och standarder för hantering av väte på flygplatser. Det tar tid att bygga upp kunskap och kunskapen behöver finnas på plats innan en fullskalig omställning kan genomföras. Syftet med demonstrationsprojektet är inte att vara kommersiellt gångbart, därför kan man här tillåta sig att använda trycksatt vätgas och långa påfyllningstider vilket sannolikt inte är gångbart för framtida kommersiella operationer. Detta innebär då även att demonstrationsprojekt som detta är beroende av någon form av finansiellt stöd.

Tabell 7: Sammanfattning av Framtidsscenario: Vätedrivet demonstrationsflyg på UME.

| Framtidsscenario: Vätedrivet demonstrationsflyg på UME | |
|--|---|
| Realiserbart: | År 2025 |
| Antal avgångar per dag: | 1 avgång per dag (vardagar) |
| Bränsle: | Trycksatt vätgas |
| Bränslebehov: | 100 kg H ₂ /dag |
| Bränslelager: | Inget lager |
| Bränsleförsörjning till flygplatsen: | Produktion av vätgas m.h.a elektrolys direkt på flygplatsen |
| Bränslelogistik på flygplatsen: | Tankning sker över natten vid plattan |
| Energi för bränsleframställning: | 1,38 GWh el per år |



5.3.1 Flygplan och flygningar

Den första generation av vätedrivna flygplan som förväntas vara tillgängliga för demonstrationsprojekt som detta är små bränslecellselektriska flygplan med cirka 20 passagerarsäten och som använder trycksatt vätgas som lagrat bränsle. Förväntad räckvidd för ett sådant plan är ungefär 500 km. Ett exempel är det flygplan som ZeroAvia planerar att lansera under 2025. Det kommer enligt deras plan ha en räckvidd på 300 NM (555 km) och ha mellan 9 – 19 passagerarsäten.⁹⁷

Av de reguljära linjeflygningar som idag sker från UME är det två som skulle kunna utföras med ett flygplan som detta. Det är flygningarna mellan UME och Åre/Östersund (300 km) samt flygningarna mellan UME och Karleby/Jakobstad (150 km). För ett demonstrationsprojekt är det dock mycket fördelaktigt om det är möjligt att endast behöva tanka vid en av flygplatserna. Detta reducerar komplexitet och investeringskostnader vilket gör demonstrationsprojektet mer genomförbart. Det betyder dock att räckvidden för flygplanet i praktiken mer än halveras då den måste kunna flyga tillbaka på samma tankning. Bränslet skall även räcka för taxning på flygplatsen och oförutsedda händelser. Flygplanets räckvidd blir i praktiken kanske närmare 150–200 km, men det beror till stor del på omständigheterna.

Det finns strikta regler för hur mycket bränsle ett flygplan skall bära och dessa måste följas även för väte. Detta leder till att flygningar till Åre/Östersund sannolikt inte är lämpliga. Då återstår endast flygningarna till och från Karleby/Jakobstad med två avgångar i veckan (måndag och tisdag). I det scenario som visas här antas att dessa flygningar för demon-

⁹⁷ ZeroAvia, "ZeroAvia.com" <https://www.zeroavia.com/> [Använd 11 10 2022].

strationsprojektets skull ökar i frekvens med fem resor i veckan, en varje vardag. Det beräknade bränslebehovet för att flyga fram och tillbaka från UME till Karleby/Jakobstad är sedan tidigare beräknat till cirka 100 kg H₂.

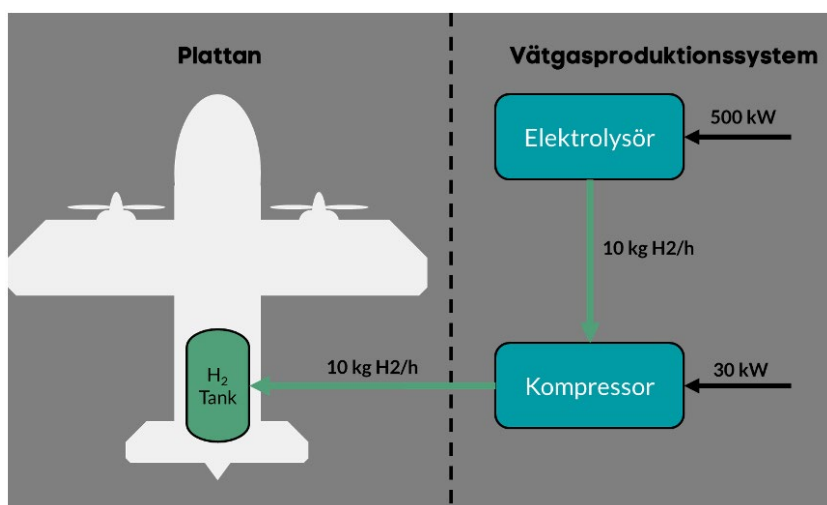
Det bör också nämnas att det även finns andra flygplatser som är på liknande avstånd men inte inom reguljär trafik. Dessa är bland annat Vaasa (110 km), Luleå (220 km) och Sundsvall/Timrå (200 km). Inom demonstrationsprojektet skulle det alltså vara möjligt att även/istället flyga till dessa flygplatser. Utöver linjetrafiken finns det också övrig flygverksamhet och taxiflyg som idag utgör cirka en tredjedel av alla avgångar från UME. Det är möjligt att även en del av dessa flygningar hade varit lämpliga.

5.3.2 Bränsleförsörjning och logistik

Behovet av vätgas för demonstrationsprojektet uppskattas vara ungefär 100 kg H₂ om dagen (endast vardagar). Då det endast planeras att utföras en relativt kort flygning om dagen betyder det att det kommer finnas mycket ställtid för att tanka flygplanet, vilket är fördelaktigt för projektets praktiska genomförbarhet. I scenariot antas att flygplanet har tid att utföra sin flygning fram och tillbaka från UME till Karleby/Jakobstad någon gång mellan 06:00 och 18:00 varje vardag (i nuläget avgår planet till Karleby/Jakobstad 09:00 från UME och återvänder 12:20).

Den föreslagna lösningen för produktion och tankning av vätgas i detta scenario går ut på att hitta en så pass enkel lösning som möjligt, som är realiserbar i närtid och också håller investeringskostnaden nere. Lösningen är att planet tankas med vätgas över natten när flygplanet står parkerat vid plattan.⁹⁸ Vätgas produceras med en elektrolysör direkt på flygplatsen bredvid plattan. Vätgasen produceras och komprimeras samtidigt som flygplanet tankas, inget stationärt lager för vätgas används. För att hinna tanka planet mellan 18:00 och 06:00 dimensioneras systemet till att kunna leverera 10 kg vätgas per timme. Det dagliga energibehovet för att producera (50 kWh/kg H₂) och komprimera vätgasen (3.0 kWh/kg H₂) är 5,3 MWh elektricitet per dag eller 1,38 GWh per år räknat med 260 arbetsdagar. Medeleffekten är 530 kW under 10h varje natt.

Figur 14: Föreslagen tankning- och vätgasproduktionslösning för scenariot demonstrationsflyg.



⁹⁸ Den plats flygplanet parkeras på övernatt om det står utomhus

Fördelarna med lösningen är framför allt avsaknaden av ett vätgaslager vilket undviker kostnader och gör systemet generellt sett säkrare. Med ett vätgaslager hade det varit möjligt att ha en mindre elektrolysör och att bättre kunna utnyttja varierande elpriser och tillgång till förnybar el. Men eftersom elektrolysören ändå redan körs på natten då elpriserna generellt sätt är lägst förväntas den skillnaden vara försumbar. Baserat på typiska kostnader för vätgastankstationer för vägfordon⁹⁹ bör denna tankningslösning uppskattningsvis ha en investeringskostnad på cirka 15 MSEK. Baserat på historiska elpriser (nattetid mellan 18:00 – 06:00)¹⁰⁰ bör den årliga elräkningen (260 arbetsdagar per år) bli runt 436 000 kronor per år. Antaget en livstid på 10 år för anläggningen och ingen ränta blir kostnaden för vätgasen 76 kronor per kilo H₂. Det betyder att bränslekostnaden per flygning blir 7 600 kronor per flygning vilket är en ökning med 200 procent jämfört med vad samma flygning förväntas kosta med vanligt Jet-A1 flygbränsle (se appendix för beräkning).

5.3.3 Alternativ eller komplement till demoprojektet: vätedrivna arbetsfordon på flygplatsen

En annan möjlighet till ett demonstrationsprojekt för att introducera väte inom flygplatsmiljön är att använda vätedrivna fordon på marken, till exempel bilar, bussar eller andra arbetsfordon som vanligtvis förekommer på flygplatser. När det kommer till användning av väte inom transportsektorn är det idag vägfordon som är det mest kommersiella alternativet. I juni 2022 fanns det nästan 60 000 vätgaselektriska fordon världen över varav majoriteten var personbilar och bussar.¹⁰¹

I tidigare arbeten har det bland annat föreslagits att de arbetsfordon som finns på flygplatsen skulle kunna drivas med vätgas för att minska klimatutsläppen från dessa fordon, men också för att introducera vätgas inom flygplatsmiljön, vilket skulle underlätta att senare introducera väte som flygplansbränsle.¹⁰² En möjlighet är att man börjar ett demonstrationsprojekt med en vätgastankstation och några vätgasfordon på flygplatsen för att få en första erfarenhet med hantering av väte och sedan utvidgas detta till att även inkludera flygplan.

⁹⁹ FCH JU, "PDA Major Capital Equipment Costs Form" https://www.fch-regions.eu/wp-content/uploads/2020/02/PDA_Major-Capital-Equipment-Costs-Form.pdf [Använd 11 10 2022].

¹⁰⁰ Nordpool Group, "nordpoolgroup.com" <https://www.nordpoolgroup.com/> [Använd 11 10 2022].

¹⁰¹ International Energy Agency, "Global Hydrogen Review 2022" 2022.

¹⁰² FCH JU, "Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050" 2020.

6 Övrig diskussion om grön vätgas inom flygindustrin

6.1 Utmaningar och hinder med att implementera väte ur flygplatsens perspektiv

Att möjliggöra användandet av väte på en flygplats kräver ny infrastruktur, förändringar i hanteringen av bränslet samt nya rutiner och uppdatering av flygplats-specifikt regelverk. Väte kommer dock inte att omkullkasta flygplatsens infrastruktur och dess hantering av flygplan, resenärer och omkringliggande verksamhet. Utifrån slutsatserna från tidigare kapitel är det främst förvaring av väte samt produktion av väte som påverkar infrastrukturen på flygplatsen. Genom att göra anpassningar i de långsiktiga utvecklingsplanerna på flygplatserna kan ytor förberedas för att hantera lagring och produktion av vätgas som följer rådande eller uppdaterade regelverk.

Tankningsproceduren påverkas även till en viss grad, där tankbilar för väte måste införskaffas eller infrastrukturen via marken (pipelines) måste byggas ut. Relevant och uppdaterad utbildning av personal måste också finnas på plats som följer nya regelverk liksom rutiner måste tas fram innan väte kan tillåtas hanteras på en flygplats.

Med ovanstående förändringar i beaktande kan risker delas upp i tre delar:

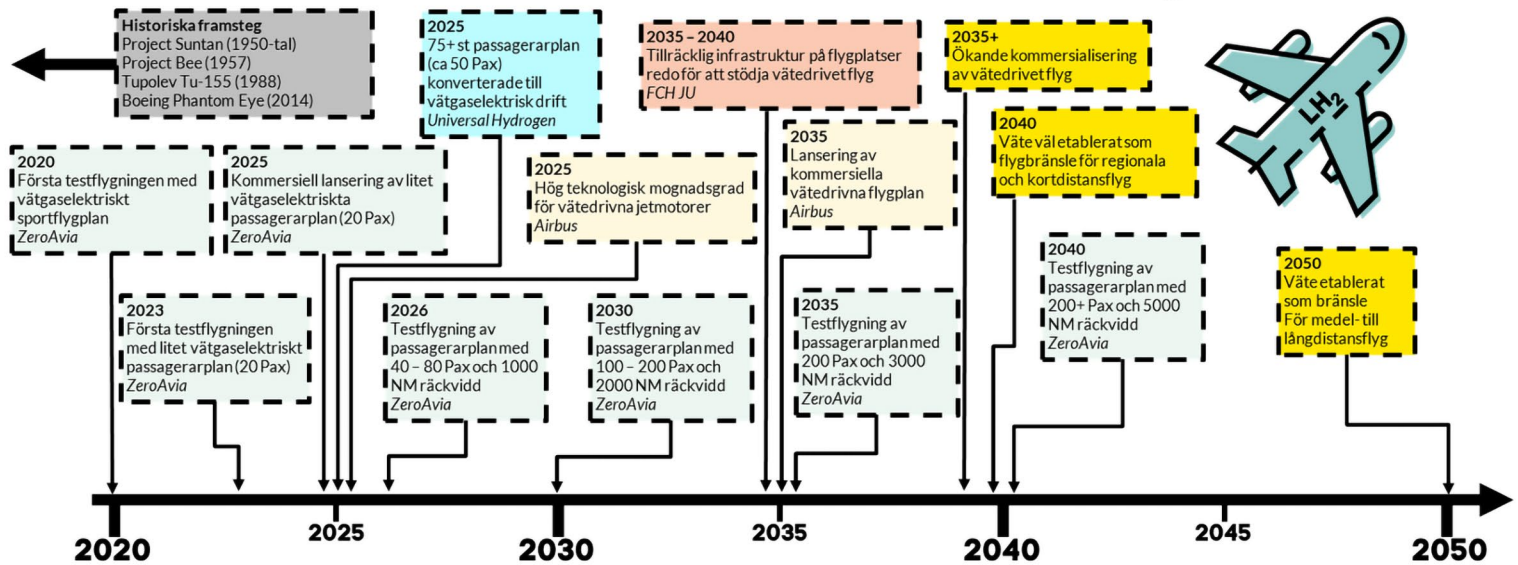
- Kostnaden för ny infrastruktur kan vara hög och svår att finansiera vilket kan leda till förseningar av flygplatsens anpassning till framtidens nya flygplanstyper.
- Utbildning av personal samt rekrytering av ny personal kan påverka möjligheterna till att hantera väte på flygplatsen.
- De nya ytbehoven för lagring och hantering av väte kan påverka andra flygplatsverksamheter och prioriteringar eller om kostnadskrävande ombyggnationer behöver göras.

Riskerna bedöms dock som överkomliga och med mindre påverkan på flygplatsens övriga verksamheter och processer.

Flygbranschen har som mål att bli fossilfri och väte erbjuder därför, även med de utmaningar och hinder som har beskrivits, en reell möjlighet att verka för denna omställning. Väte erbjuder även flera synergimöjligheter och dessa stärker därigenom affärsmodellerna för produktion och användning av vätgas.

Affärsmodellerna för väte på en flygplats är fortfarande under utredning och kan delas i två huvudspår: dels att flygplatsoperatörer äger och förvaltar väteproduktionsanläggningar samt försäljning av väte till flygplatsens kunder (flygplan, markfordon, byggnader, m.m.) och dels att detta arrenderas ut till en privat aktör. Även kombinationer av ovanstående två inriktningar kan vara möjliga. Troligtvis behöver väte också användas av olika aktörer på och invid flygplatserna för att uppnå tillräckligt god affärs-mässighet i de investeringar som bör göras.

Färdkarta för vätedrivet flyg



Figur 15: Färdkarta för vätedrivet flyg enligt olika internationella aktörers ambitioner.

6.2 Tidslinje för vätedrivet flyg

Flera aktörer inom den internationella flygindustrin har uttryckt olika ambitioner för utvecklingen av vätedrivet flyg. I bilden nedan sammanställs dessa ambitioner i en färdkarta för att visa en möjlig utveckling av vätedrivet flyg inom de kommande 30 åren.

6.3 Sammanfattning av vissa policys och engagemang relaterat till vätedrivet flyg

I detta avsnitt sammanfattas några av de policys och engagemang som verkar för att främja vätedrivet flyg. Dessa är viktiga att känna till för den som är intresserad av att följa utvecklingen av vätedrivet flyg. Sammanfattningsvis kan det konstateras att trots att det finns många ambitioner för att både reducera utsläpp från flygindustrin och att öka användningen av grön vätgas i allmänhet, finns det ännu mycket få konkreta exempel på målsättningar för hur och i vilken utsträckning grön vätgas skall användas inom flygindustrin.

6.3.1 Svenska och europeiska målsättningar för hållbart flyg

Inom Sverige finns det ambitioner och målsättningar för hållbart flyg på flera olika håll. Dessa skiljer sig i ambitionsnivå och konkreta delmål. Exempelvis har man i regeringens nationella flygstrategi från 2017¹⁰³ inga konkreta uttalande delmål om när eller på vilka sätt flyget skall göras hållbart. Däremot nämner den att man fortfarande avser att följa andra övergripande klimatmål där flygets utsläpp ingår, så som det globala 1.5 graders målet.¹⁰⁴ Sverige har även ett mål att reducera utsläpp från inrikes transporter med 70 procent till år 2030 jämfört med år 2010, men utsläpp från inrikes flyg omfattas inte av detta mål.¹⁰⁵ Däremot omfattas utsläpp av inrikes flyg i EU:s utsläpphandelssystem (EU ETS) där man i "Fit for 55"-paketet har föreslagit att alla utsläpp som omfattas inom systemet skall reduceras med 61 procent till år 2030 jämfört med 2005.¹⁰⁶ Inom Fit for 55-paketet finns även förslaget ReFuelEU Aviation som dock framför

¹⁰³ Regeringskansliet, "En svensk flygstrategi – för flygets roll i framtidens transportsystem" [Använd 03 11 22]

¹⁰⁴ United Nations, "The Paris Agreement" <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> [Använd 03 11 22]

¹⁰⁵ Sveriges Miljömål, "Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter" <https://www.sverigemiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-fran-inrikes-transporter/> [Använd 03 11 22]

¹⁰⁶ European Council, "Fit for 55" <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/#what> [Använd 03 11 22]

allt handlar om SAF och bränsleeffektiviseringar, det görs inga uttalanden om användning av väte.¹⁰⁷

Från den svenska flygbranschens håll finns Fossilfritt Sveriges rapport "Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Flygbranschen" från 2020. I färdplanen etableras visionen att inrikesflyg som startar på svenska flygplatser skall vara fossilfria till 2030 och att till 2045 skall alla flyg som startar på svenska flygplatser vara fossilfria.¹⁰⁸ Färdplanen tar upp hur ny teknik och elektrifiering av flyget kan komma att spela roll i framtiden, men nämner inte specifikt hur väte kan eller borde användas för att nå dessa visioner.

Innovair som är Sveriges nationella strategiska innovationsprogram för flyg har vid flera tillfällen samlat aktörer inom svensk flygteknik för att skriva nationella innovationsagendor för flygteknik. I den senaste utgåvan NRIA Flyg 2020 omnämns hur väte kan användas för att uppnå hållbart flyg och den beskriver bland annat GKN Aerospace arbete med att ta fram delkomponenter för vätedrivna jetmotorer.¹⁰⁹ Väte eller nya flygbränslen är dock inte en del av NRIA Flygs prioriterade teknikområden.¹¹⁰

I det förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak som presenterades av Statens energimyndighet den 25 november 2021 omnämns vätgas och elektrobränslen som möjliggörare för sjö- och luftfartens omställning.¹¹¹ Dock anses detta vara relevant i perioden 2031 - 2045 och inga specifika målsättningar anges. Även i EUs vätgasstrategi från 2020 omnämns vätgas och SAF-bränslen framställda med hjälp av vätgas som möjliggörare för flygindustrins omställning. I den förslås även att man skall ta fram en färdplan för hur detta skall uppnås.¹¹²

6.3.2 ICAO:s Long-term global aspirational goal

ICAO står för International Civil Aviation Organization och är de Förenta nationernas specialiserade byrå för civil luftfart. ICAO driver arbete för att främja en hållbar omställning inom flygindustrin med sin "Long-term global aspirational goal" för den globala flygindustrins utsläpp. I sin plan anser dock ICAO att det främst är energieffektiviseringar och SAF som kommer att stå för majoriteten av reduktionen i utsläpp. Vätgas kommer enligt dem främst spela viss roll för att reducera utsläppen, men först efter 2050.¹¹³

6.3.3 EUs definition av grön vätgas

Renewable Energy Directive (RED) är EUs legala ramverk för utvecklingen av förnybar energi i alla sektorer inom EUs ekonomi och är till för att främja samarbete mellan EUs medlemsländer.¹¹⁴ Under 2021 släpptes ett förslag för hur RED II kan uppdateras för att bland annat inkludera definitioner för hur vätgas skall produceras för att få räknas som grön (miljövänlig). Exempelvis kan vätgas producerad med el från elnätet räknas ha en högre klimatpåverkan än vätgas som producerats med el som levereras

¹⁰⁷ European Economic and Social Committee, "ReFuelEU Aviation" <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/refueeu-aviation> [Använd 03 11 22]

¹⁰⁸ Fossilfritt Sverige, "Färdplan för Fossilfri Konkurrenskraft" 2020

¹⁰⁹ Innovair, "NRIA Flyg 2020" <https://innovair.org/wp-content/uploads/2020/02/nriaflyg2020.pdf> [Använd 03 11 22]

¹¹⁰ Innovair, "NRIA Flyg – Prioriterade teknikområden" <https://innovair.org/nria-flyg/nria-flyg-prioriterade-teknikomraden/> [Använd 03 11 22]

¹¹¹ Energimyndigheten, "Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak", ER 2021:34. [Använd 03 11 22]

¹¹² European Commission, "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe" <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301> [Använd 03 11 2022].

¹¹³ International Civil Aviation Organization, "LTAG Report" ICAO, 2019. <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx> [Använd 01 11 2022].

¹¹⁴ European Commission, "Renewable energy directive" European Commission, https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en [Använd 31 10 2022].

till elektrolysören direkt från en förnyelsebar källa. Den reviderade versionen av RED II har därför presenterat förslag på regler för en tydligare definition av grön vätgas.¹¹⁵

De nya reglerna har varit omdiskuterade, till exempel så har representanter från Hydrogen Europe¹¹⁶ och andra organisationer påpekat att de tycker att kraven är för stränga, att de orsakar för höga kostnader och på så sätt bromsar utvecklingen av grön vätgas inom Europa.¹¹⁷ I skrivande stund (hösten 2022) har det uppdaterade direktivet ännu inte trätt i kraft och så sent som i september 2022 röstade det Europeiska parlamentet för att inte inkludera den så kallade "additionalitetsprincipen" som i vissa fall hade kunnat kräva att ny förnybar elproduktion byggs i samband med vätgasproduktion för att vätgasen skall räknas som grön.¹¹⁸

Det står ännu inte klart hur den slutgiltiga definitionen av grön vätgas inom EU kommer att lyda, men hur den utformas kommer att ha stor betydelse för den gröna vätgasens förmåga att få både ekonomiskt och miljömässigt genomslag.

6.3.4 Alliance for Zero Emission Aircraft (AZEA)

Alliance for Zero Emission Aircraft (AZEA) är ett frivilligt europeiskt initiativ för privata och offentliga intressenter som anordnas av den Europeiska Kommissionen. Initiativet är till för att främja den kommersiella introduktionen av vätedrivna och elektriska flygplan. AZEA lanserades först nyligen (24 juni 2022) och har sedan hösten samma år runt 90 medlemmar, vilket inkluderar flera flygbolag, flygplatser, tillverkare av flygplan med mera.¹¹⁹

AZEA är tänkt att fungera genom att knyta ihop och främja samarbete mellan olika berörda aktörer och genom att etablera rekommendationer för krav på bland annat infrastruktur, energikällor och regelverk. AZEA ser sig också som en plattform som kan hjälpa till att hitta finansiering för nya projekt¹²⁰.

6.4 Andra användningar av väte

Denna rapport fokuserar främst på att illustrera hur väte kan användas som flygbränsle, men det finns även andra sätt som väte kan användas inom flygindustrin. I detta kapitel diskuteras tre sådana möjliga användningsområden.

6.4.1 Framställning av hållbara drop-in bränslen

Utöver att använda väte som flygplansbränsle är det möjligt att använda väte för att framställa andra hållbara flygbränslen. SAF (Sustainable Aviation Fuels) är flygplansbränslen som kan användas istället för vanligt flygplansbränsle. SAF har liknande kemisk komposition som vanligt flyg-

¹¹⁵ Dan Feldman, Lachlan Poustie, Frederick Lazell och Kate Buchanan, "GREEN HYDROGEN USE IN INDUSTRY PROMOTED BY REVISED RED II" Shearman & Sterling, 16 07 2021. <https://www.shearman.com/Perspectives/2021/07/Green-Hydrogen-Use-in-Industry-Promoted-by-Revised-RED-II> [Använd 31 10 2022].

¹¹⁶ Hydrogen Europe är en europeisk association för att representera vätgasindustrins och dess intressenters intressen och för att främja väte som möjliggörare för ett nollutsläppssamhälle.

¹¹⁷ Rachel Parkes, "Scrapped | EU's controversial 'additionality' rules for green hydrogen are history after European Parliament vote" Recharge, 14 09 2022. <https://www.rechargenews.com/energy-transition/scrapped-eus-controversial-additionality-rules-for-green-hydrogen-are-history-after-european-parliament-vote/2-1-1299195> [Använd 31 10 2022].

¹¹⁸ Hydrogen Central, "What is 'Additionality' and Why Does The Hydrogen Industry Need It? – Hycap" 4 10 2022. <https://hydrogen-central.com/what-additionality-why-hydrogen-industry-need-hycap/> [Använd 31 10 2022].

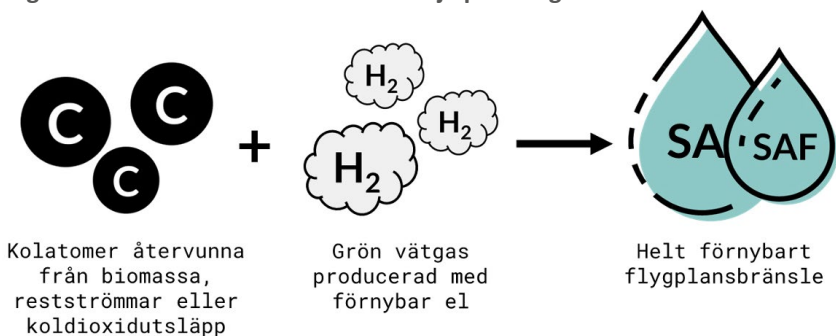
¹¹⁹ European Commission, "LIST OF MEMBERS OF THE ALLIANCE FOR ZERO-EMISSION AVIATION [25 October 2022]" European Commission, 25 10 2022. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2022-10/AZEAprcent20-procent20Listprocent20ofprocent20Members_251022_0.pdf [Använd 31 10 2022].

¹²⁰ European Commission, "Alliance for Zero-Emission Aviation" European Commission, https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-aeronautics-industry/alliance-zero-emission-aviation_en [Använd 31 10 2022].

plansbränsle och kan därför användas utan några modifikationer på vare sig flygplan eller flygplats (här av namnet "drop-in" bränsle). Skillnaden är att det framställs på ett sätt som är mer hållbart och har lägre klimatpåverkan. Det finns flera olika sorters SAF som framställs på olika vis och ett möjligt framställnings sätt är med hjälp av väte.

När SAF framställs med hjälp av väte används kolatomer som utvinns från biomassa, industriella restströmmar eller koldioxidutsläpp och kombineras med väteatomerna från den gröna vätgasen för att bilda ett nytt kolvätebränsle, i detta fall flygplansbränsle (se Figur 16).¹²¹ Denna process är en form av CCU (Carbon Capture and Utilization) vilket innebär att kolatomer fångas upp och utnyttjas i stället för att släppas ut.

Figur 16: Hur SAF kan framställas med hjälp av vätgas.



Klimatnyttan i denna process härstammar från att den minskar beroendet av fossila bränslen och att själva framställningen av bränslen kan vara en "koldioxidnegativ" process om man använder kolatomer som annars hade orsakat koldioxidutsläpp. När bränslet sedan används i flygplanets motorer orsakas dock fortfarande lika stora direkta utsläpp som för vanligt flygplansbränsle. Detta innebär att denna lösning i bästa fall teoretiskt sett är klimatneutral, men forskning har visat att det egentligen inte räcker med endast CCU från biogena källor för att fullt kompensera flygets utsläpp och att andra lösningar också krävs.¹²²

Det är även möjligt att tillverka SAF och andra drivmedel utan att tillsätta vätgas och endast förlita sig på de kol- och väteatomer som finns i den restström man utnyttjar, men studier har visat att det kan finnas fördelar med att använda tillsatt vätgas. En sådan fördel är att det är mer resurseffektivt om man tillsätter vätgas och att man då lyckas nyttja en större del av biomassan.¹²³ Mer om SAF beskrivs i en annan del av färdplanen.

Framställning av SAF med hjälp av vätgas är ännu inte en kommersiell process, men ses som en lovande möjlighet för att minska flygets klimatpåverkan.¹²⁴ Det finns redan idag planer på satsningar att tillverka flygbränsle på detta vis i bland annat Forsmark,¹²⁵ Långsele¹²⁶ och Rotterdam¹²⁷ för att nämna några.

¹²¹ Anna Qualye, Pierre Ragnehag, "Bränsle av vatten och utsläpp – så här går det till" SVT, 2 6 2022. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/bransle-av-vatten-och-utslapp-sa-gar-det-till> [Använd 14 10 2022].

¹²² Ahlström et al., "Climate-positive and carbon efficient bio-jet fuels, are they possible?" 2022.

¹²³ Erik Furusjö, "Bio-elektrobränslen - Hybrid drivmedel för förbättrad resurseffektivitet" 2022. Publ. nr FDOS 46:2022. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/> [Använd 2022 11 25]

¹²⁴ Patric Sellén, Micke Nyberg, "Experten förklarar: Så ska grönt flygbränsle framställas i Långsele" SVT, 28 4 2022. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/experten-forklarar-sa-ska-gront-flygbransle-framstallas-i-langsele> [Använd 14 10 2022].

¹²⁵ Sveriges Television, "Flygplan ska tanka återanvänd koldioxid" SVT, 3 11 2021. <https://www.svt.se/nyheter/inrikes/flyget-ska-tank-ateranvand-koldioxid> [Använd 14 10 2022].

¹²⁶ Patric Sellén, Micke Nyberg, "Experten förklarar: Så ska grönt flygbränsle framställas i Långsele" SVT, 28 4 2022. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/experten-forklarar-sa-ska-gront-flygbransle-framstallas-i-langsele> [Använd 14 10 2022].

¹²⁷ Carolina Palma, "Shell to Build Renewable Diesel, SAF Biorefinery in Rotterdam" Oleochem Analytics, 17 9 2021. <https://oleochemanalytics.com/2021/09/17/shell-to-build-renewable-diesel-saf-biorefinery-in-rotterdam/> [Använd 14 10 2022].

7 Rekommendationer

Baserat på den information som har insamlats och presenterats i denna rapport vill vi (författarna) lämna följande tre rekommendationer, riktade till beslutsfattare och aktörer inom flygbranschen, för att främja utvecklingen av vätedrivet flyg och den hållbara omställningen av flygindustrin.

- Anpassa och utveckla regelverk för hantering av väte på flygplatser.**

Ett grundläggande krav för framgången av vätedrivet flyg är att väte kan hanteras på ett säkert, effektivt och internationellt standardiserat sätt på flygplatsen. Men de regelverk som finns idag för hantering av bränsle och säkerhet på flygplatser är inte anpassade för väte. Väte är ett brandfarligt ämne men det är även vanliga flygbränslen. Ur ett säkerhetsperspektiv finns det inga oöverkomliga hinder för att väte skall kunna hanteras på ett säkert sätt inom flygbranschen. Andra branscher har länge hanterat väte säkert och flygbranschen kan lära sig från dem. Förutsättningarna för att hantera väte på ett säkert sätt är goda då flygindustrin är en säkerhetskritisk industri där man ofta befinner sig i kontrollerad miljö. Berörda svenska myndigheter och aktörer inom flygbranschen bör engagera sig i initiativ som AZEA eller standardiseringsorgan för att gemensamt skapa dessa regelverk (Swedavia är medlem i AZEA sedan september 2022).
- Engagemang inom demonstrationsprojekt och initiativ.**

Det är sannolikt en ganska lång tid (15 – 25 år) kvar tills vätedrivet flyg får ett kommersiellt genomslag, men det finns redan nu aktörer som engagerar sig i pilot- och demonstrationsprojekt för vätedrivna flyg. I avsnitt 5.3 har vi illustrerat hur ett möjligt demonstrationsprojekt med vätedrivet flyg på en svensk flygplats (UME) skulle kunna utformats redan år 2025. Tidiga demonstrationsprojekt och liknande initiativ kommer att vara viktiga för att driva fram utvecklingen av vätedrivet flyg. De behövs för att demonstrera tekniken, för att driva utveckling och för att skapa kunskap och erfarenhet med hantering av väte inom branschen. Dock kommer de att vara i behov av finansiella stöd och större samarbeten mellan aktörer både inom och utanför flygindustrin. Aktörer inom flygbranschen bör engagera sig i initiativ för att skapa de konsortium som krävs för att driva projekt som dessa och myndigheter kan bistå med finansiering.
- Planera för att flygplatser och/eller regioner skall få den energi som de behöver.**

En viktig slutsats från avsnitt 5.2 är att energibehovet för produktion av vätgas innebär en stor förändring i energilandskapet. Även relativt små flygplatser skulle kunna ha ett energibehov jämförbart med en industrianläggning. Det finns flera sätt som en flygplats kan försörjas med grönt väte och det är möjligt att vätet framställs både innanför och utanför landets gränser. Vilken väg man än väljer är omställningen stor och det är viktigt att man tänker på detta när man planerar för framtidens energiförsörjning. Flygplatser kommer framöver att behöva samordnas med det övriga samhället kring frågor om energiförsörjning för att se till att tillräckliga mängder förnybar energi finns tillgänglig för att stötta omställningen.

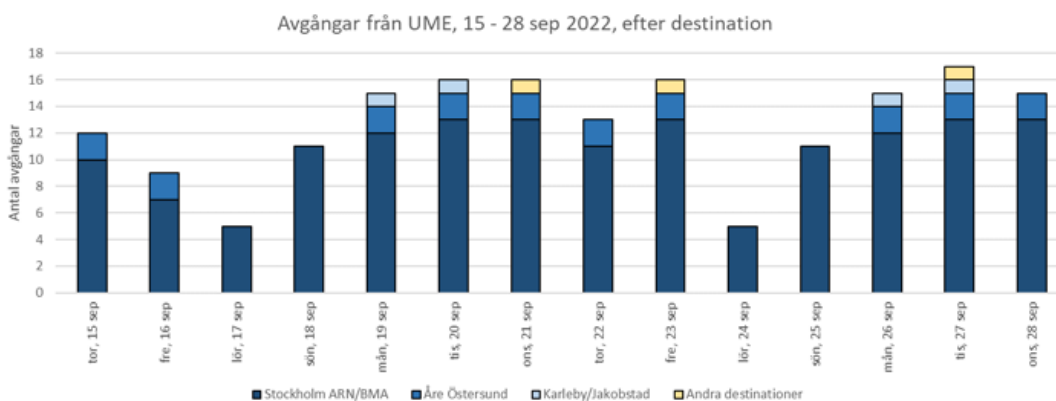
Appendix

Avgångar från UME, 15 – 28 september 2022

Data hämtat från Swedavias hemsida för avgångar från UME har analyserats för att skapa en bild över de vanligaste destinationerna och typer av flygningar som utförs från UME.¹²⁸ Denna data har använts som grund för att senare skapa en uppskattning om hur mycket väte som skulle kunna behövas på UME. Dock måste det konstateras att dagens mängder och former av flygtrafik inte nödvändigtvis reflekterar framtidens och att det är mycket som kan komma att ändras framöver.

Under den analyserade perioden förekom det mellan 5 och 17 avgångar per dag med ett snitt på 12.5 per dag. Den absolut vanligaste destinationen är Stockholm (med flygningar både till Arlanda och Bromma), cirka 85 procent av alla avgångar från UME landar i Stockholm. Efter Stockholm är Åre/Östersund den vanligaste destinationen med cirka 11 procent av alla avgångar. Till Åre/Östersund går två avgångar per dag förutom på helger. Två gånger i veckan går även ett flyg till Karleby/Jakobstad i Finland, vilket är den tredje vanligaste destinationen med 2 procent av alla avgångar. Slutligen så sker avgångar till andra destinationer ungefär en gång i veckan. Under den analyserade perioden förekom två avgångar till Grekland och en till Malmö. Totalt utgör dessa avgångar cirka 1 procent av alla avgångar från flygplatsen.

Figur 17: Avgångar från UME efter flygplanstyp och avstånd.



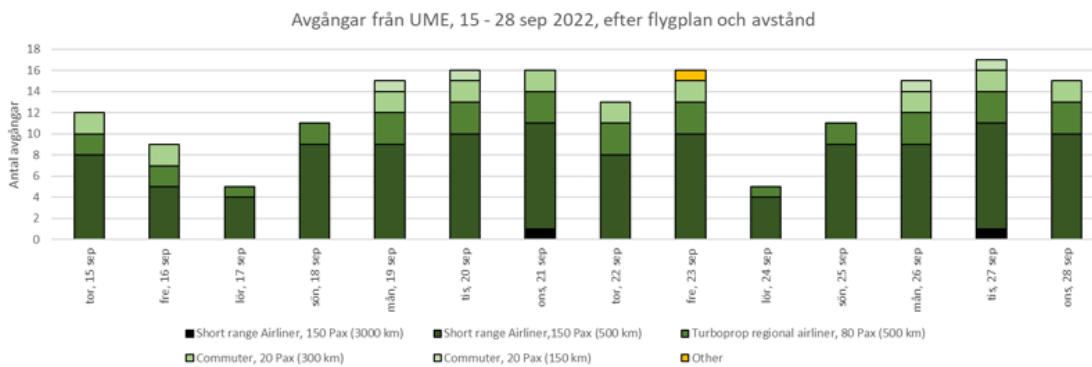
I den reguljära linjetrafiken från UME används huvudsakligen tre olika typer av flygplan som presenteras i Tabell 8 nedan. Flygplanen av typen "Short range, 150 Pax" är antingen av modellen Airbus A320 neo eller Boeing 737-800 och rymmer runt 150 passagerarsäten beroende på modell. Dessa flygplan används främst för att flyga till Stockholm Arlanda vilket innebär ett avstånd på cirka 500 km. Detta är ett betydligt kortare avstånd än vad de egentligen kan klara av att flyga. Exempelvis används även denna typ av flygplan för de mer sällan förekommande avgångarna till andra destinationer, vilka kan vara upp till 3 000 km bort. Flygplanen av typen "Turboprop regional, 80 Pax" rymmer runt 80 passagerarsäten och är av modellerna ATR 72-500 eller CRJ 900. Dessa flygplan används för flygningarna till Stockholm Bromma. Till sist finns även typen "Commuter, 20 Pax". Denna typ av flygplan är av modellen Beechcraft 1900C vilket är ett mindre propellerflygplan med ungefär 20 passagerarsäten. Dessa flygplan används för linjetrafiken till Åre/Östersund och till Karleby/Jakobstad.

¹²⁸ Swedavia, "Departures," <https://www.swedavia.com/umea/departures> [Använd 11 10 2022].

Tabell 8: Flygplanstyper förekommande i reguljär linjetrafik från UME.

| Flygplanstyp | Short range, 150 Pax | Turboprop regional, 80 Pax | Commuter, 20 Pax |
|-------------------|----------------------|----------------------------|------------------|
| Exempel-modeller: | Airbus A320neo | ATR 72-500 | Beechcraft 1900C |
| | Boeing 737-800 | CRJ 900 | |

Figur 18: Avgångar från UME efter flygplanstyp och avstånd.



Metod för beräkning av vätebehov

I detta avsnitt redovisas den metod som har använts för att uppskatta behovet av väte för Umeå flygplats. Detta är inte en helt enkel uppgift då användning av väte som flygplansbränsle ändrar på många av flygplanets mest grundläggande egenskaper, till exempel flygplanets form och dess luftmotstånd. I tabellen nedanför (Tabell 9) sammanfattas resultat från tre olika studier där man har beräknat hur Block-Energy¹²⁹ ändras hos olika flygplansmodeller om väte används i stället för vanligt flygplansbränsle. Det måste dock påpekas att resultaten inte är helt jämförbara mellan studierna då de använder olika grundläggande antaganden. Läsaren hänvisas till ursprungskällorna för mer detaljerad information.

Tabell 9: Beräknad ändring i Block-Energy för omställning från vanligt flygbränsle till väte.

| Studie | Flygplanstyp | Ändring i Block-Energy |
|---------------------------|----------------------------|------------------------|
| Hoelzen et al., 2021 [25] | Short range, 150 Pax | +12 procent |
| Hoelzen et al., 2021 [25] | Medium range, 290 Pax | +18 procent |
| Verstraete, 2015 [60] | Short range, 150 Pax | +18 procent |
| Verstraete, 2015 [60] | Medium range, 300 Pax | +5 procent |
| Verstraete, 2015 [60] | Long range, 400 Pax | -11 procent |
| FCH JU, 2020 [32] | Turboprop regional, 20 Pax | -10 procent |
| FCH JU, 2020 [32] | Turboprop regional, 80 Pax | -8 procent |
| FCH JU, 2020 [32] | Short range, 165 Pax | -4 procent |
| FCH JU, 2020 [32] | Medium range, 250 Pax | +22 procent |
| FCH JU, 2020 [32] | Long range, 325 Pax | +42 procent |

¹²⁹ Block-Energy syftar på det totala arbete som krävs från flygplanets motorer för att driva flygplanet genom en flygning.

I praktiken krävs det också, för att med noggrannhet kunna beräkna ett flygplans energibehov, detaljerad information om flygplanets modell, hur långt det skall flyga, hur tungt det är lastat samt information om väderleken. Eftersom sådan information inte finns att tillgå här används i stället en förenklad och mindre exakt metod. Metoden baseras huvudsakligen på registrerad typisk bränsleförbrukning av vanligt flygplansbränsle hos kända flygplansmodeller samt den uppskattade ändringen i Block-Energy som redovisas i FCH JU.¹³⁰ Övriga antaganden som används:

- Det lägre värmevärdet för Jet-A1¹³¹ är 12.83 kWh per kilo.¹³²
- Det lägre värmevärdet för väte är 33.33 kWh per kilo.¹³³
- Energieffektiviteten för flygplanets drivlina från bränsle till användbart arbete är densamma för väte och fotogen.
- Ingen distinktion görs mellan vilken typ av väteframdrift som används (turbojetmotor eller bränslecell).

Tabell 10: Beräkning av bränsleförbrukning med väte för olika flygplansmodeller.

| Flygplanstyp | Short range, 150 Pax | Turboprop regional, 80 Pax | Commuter, 20 Pax |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Exempelmodeller | Airbus A320neo | ATR 72-500 | Beechcraft 1900C ^A |
| | Boeing 737-800 | CRJ 900 | |
| Typisk bränsleförbrukning vanligt flygplansbränsle | 2.79 – 3.59 kg/km ^{134, 135} | 2.52 – 2.65 kg/km ^{136, 137} | 1.00 kg/km ¹³⁸ |
| Ändring av energibehov ¹³⁹ | -4procent | -8procent | -10procent |
| Typiskt energibehov vanligt flygplansbränsle | 35.8 – 46.0 kWh/km | 32.3 – 34.0 kWh/km | 12.8 kWh/km |
| Typiskt energibehov väte | 34.4 – 44.2 kWh/km | 29.7 – 31.3 kWh/km | 11.5 kWh/km |
| Typisk bränsleförbrukning väte | 1.03 – 1.32 kg H ₂ /km | 0.89 – 0.94 kg H ₂ /km | 0.35 kg H ₂ /km |

A – Datan är för en Beechcraft 1900D vilket antas vara liknande som för 1900C

¹³⁰ FCH JU, "Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050" 2020.

¹³¹ Om Jet-A1 antas vara 100 procent fotogen

¹³² The Engineering Toolbox, "Fuels - Higher and Lower Calorific Values" https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html [Använd 11 10 2022].

¹³³ Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, "Thermodynamics - An Engineering Approach, McGraw-Hill" 2011.

¹³⁴ Vinay Bhaskara, "ANALYSIS: A320neo vs. 737 MAX: Airbus is Leading (Slightly) – Part II" 5 2 2016. <https://web.archive.org/web/20160206082857/http://airways-news.com/blog/2016/02/05/a320neo-vs-737-max-pt-ii/> [Använd 11 10 2022].

¹³⁵ The Boeing Company, "737-600 performance summary" https://web.archive.org/web/20140725005129/http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/startup/pdf/737ng_perf.pdf [Använd 11 10 2022].

¹³⁶ Aircraft owner's & operator's guide, "ATR family fuel burn" 2007. https://www.aircraft-commerce.com/wp-content/uploads/aircraft-commerce-docs1/Aircraft-procent20guides/ATRprocent2042procent2072/ISSUE49_ATR42procent2072FUEL.pdf [Använd 11 10 2022].

¹³⁷ Aerocorner.com, "Bombardier CRJ 900" <https://aerocorner.com/aircraft/bombardier-crj-900/> [Använd 11 10 2022].

¹³⁸ Omer Majeed, "Beechcraft 1900D: Fuel, Emissions & Cost Savings Operational Analysis" 21 2 2012. [Online]. Available: <http://www.srs.aero/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/SRS-TSD-007-Rev-0-1900D-Fuel-Emissions-Cost-Savings-Operational-Analysis.pdf> [Använd 11 10 2022].

¹³⁹ FCH JU, "Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050" 2020.

Beräkning av bränslekostnader

Här redovisas den metod och de värden som har används för att beräkna de bränslekostnader som redovisas i det tidigare avsnittet ”5.3.2 Bränsleförsörjning och logistik”.

Tabell 11: Parameterar för beräkning av bränslekostnader.

| Parameter | Enhet | Värde | Källa |
|---|------------------------------|--------|-------|
| Investeringskostnad elektrolys | SEK/(kg H ₂ /dag) | 50 000 | 140 |
| Investeringskostnad kompressor | SEK/(kg H ₂ /dag) | 14 000 | 141 |
| Genomsnittligt elpris i SE2 nat-tetid 2016 – 2021 | SEK/MWh | 316.55 | 142 |
| Växelkurs Dollar till SEK (10 okt. 2022) | SEK/\$ | 11.31 | 143 |
| Bränslepris Jet-A1 (10 okt. 2022) | \$/liter | 0.881 | 144 |
| Densitet Jet-A1 | kg/liter | 0.821 | 145 |
| Bränsleförbrukning Jet-A1 | kg/km | 1.00 | 146 |

Formel för beräkning av bränslekostnad för flygning UME – Karleby/Jakobstad tur och retur (300 km) med Jet-A1 bränsle:

$$\text{Kostnad} = \text{Växelkurs} \times \text{Bränslepris} \times \text{Densitet} \times \text{Bränsleförbrukning} \times 300 \text{ km}$$

¹⁴⁰ FCH JU, "PDA Major Capital Equipment Costs Form," https://www.fch-regions.eu/wp-content/uploads/2020/02/PDA_Major-Capital-Equipment-Costs-Form.pdf [Använd 11 10 2022].

¹⁴¹ FCH JU, "Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050" 2020.

¹⁴² Nordpool Group, "nordpoolgroup.com" <https://www.nordpoolgroup.com/> [Använd 11 10 2022].

¹⁴³ xe.com, "Convert US Dollars to Swedish Kronor" <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=SEK> [Använd 10 10 2022].

¹⁴⁴ Jet-A1-Fuel.com, "Jet Fuel price Today, 10 October 2022" <https://jet-a1-fuel.com/#jeta1> [Använd 10 10 2022].

¹⁴⁵ The Engineering Toolbox, "Fuels - Higher and Lower Calorific Values" https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html [Använd 11 10 2022].

¹⁴⁶ Omer Majeed, "Beechcraft 1900D: Fuel, Emissions & Cost Savings Operational Analysis" 21 2 2012. <http://www.srs.aero/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/SRS-TSD-007-Rev-0-1900D-Fuel-Emissions-Cost-Savings-Operational-Analysis.pdf> [Använd 11 10 2022].



Biodrivmedel: ökad efterfrågan, kunskapshöjning och nudging

Vad är bioflygbränsle?

Biodrivmedel för flyg eller bioflygbränsle som det också kallas, kan tillverkas av skogsrester, använd frityrolja, hushållsavfall, slakteriavfall, alger med mera, beroende på var bränslet ska produceras.¹ Bioflygbränsle omfattas även av den globala standarden som gäller för alla jetbränslen och måste vara certifierad. Aktörerna som erbjuder köp av biodrivmedel ställer idag hållbarhetskrav på råvaran utifrån ett antal hållbarhetskriterier som ska garantera att ett biodrivmedel har framställts på ett hållbart sätt. Idag kan planen tankas upp till 50 procent SAF med gällande regelverk.² I rapporten förekommer orden SAF, biodrivmedel, biobränsle och bioflygbränsle för att beskriva samma produkt. Likaså förekommer dessa termer i media och bland företag för att beskriva samma sak.

Efterfrågan via upphandling

En frågeställning som projektet har undersökt är hur efterfrågan på biodrivmedel kan ökas. Hur skulle det kunna göras och vilka möjligheter har kommuner och regioner att påverka detta?

Kommuner, regioner och myndigheter har möjlighet att delta i gemensamma upphandlingar eller köpa biodrivmedel via flygbolag eller exempelvis

¹ Swedavia. (2021). Swedavias satsning på bioflygbränsle fortsätter – sex samarbetspartners med i årets upphandling. <https://www.swedavia.se/visby/for-press/swedavias-satsning-pa-bioflygbransle-fortsatter--sex-samarbetspartners-med-i-arets-upphandling> Läst 2022-10-15

² Regeringskansliet. (2019). Biojet för flyget, SOU 2019:11. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2019/03/sou-201911/> Läst 2022-11-03

genom organisationen Fly Green Fund för sina tjänsteresor med flyg. Detta gör att de minskar sitt utsläpp med 80 procent om det fossila bränslet byts mot fossilfritt flygbränsle. Swedavia och Svenska regionala flygplatser (SRF) avser att göra en ny upphandling varje år för att fler aktörer ska kunna ansluta sig och bli avropsberättigade i avtalet. Dessa aktörer tar ansvar för och genomför upphandlingen av avtal i vilket deltagande aktörer görs avropsberättigande. Organisationerna väljer själva hur stor del av sina tjänsteresor man vill klimatreducera. Flertalet myndigheter och organisationer har redan gått med i denna upphandling och klimatreducerar alltså sina tjänsteresor med flyg.

Ett exempel är Skellefteå kommun som idag klimatreducerar sina inrikes tjänsteresor från Skellefteå Airport genom köp av biodrivmedel.³ Umeå kommun har än så länge inte tagit något politiskt beslut att tjänsteresorna inom kommunen ska klimatreduceras. I Trafikanalys rapport ”Styrmedel för luftfartens klimatomställning”⁴ från september 2022 föreslås att myndigheter ska klimatreducera sina flygresor. De skriver att ”Interventionskedjan innebär att staten ger i uppdrag till Kammarkollegiet att handla upp biobränsle för att täcka statens behov för dess flygtransporter. Förslaget ger en signaleffekt då det visar att staten tror att hållbara flygbränslen är betydelsefullt för att begränsa utsläppen av koldioxid, vilket sänder marknads-signalen att satsningen på biodrivmedel är långsiktig. Bränslebytet ger en liten, men positiv påverkan på klimatmålen.”

Avtalad leverantör kommer att förse varje enskild avropsberättigad organisation med dokumentation som styrker tankad mängd förnybart och den utsläppsminskning bränslet motsvarar. Den avropade organisationen kan därmed styrka dessa uppgifter med skriftliga verifierat och använda uppgifterna i sina egna beräkningar, redovisningar och i den egna kommunikationen.⁵

Värdet av att klimatreducera sina tjänsteresor

Klimatreducering leder till ett mindre klimatavtryck och en faktisk reduktion av utsläpp av koldioxid från flyg till skillnad från klimatkompensering som inte minskar själva utsläppet.⁶ Trafikverket lyfter i sin rapport fram att en ökad efterfrågan på biodrivmedel skulle underlätta produktion av SAF.⁷ En ökad efterfrågan på biodrivmedel från skoglig biomassa skulle kunna gynna etableringen av en regional produktion av biodrivmedel med flertalet nya arbetstillfällen som följd.

Osäkerhet kring efterfrågan

För att bolag ska våga investera i ny teknik så krävs det att det finns en tydlig efterfrågan, annars finns en stor investeringsrisk. Ett sätt att ge säkrare garantier för att en viss produkt är något som marknaden efterfrågar är att större bolag kan teckna en avsiktsförklaring LOI (Letter of intent). Det är ett typ av föravtal som används innan stora förhandlingar och avtal där parterna har en avsikt att ingå ett avtal. Det blir inte bindande att ingå det större avtalet längre fram, men det kan vara att man ingår avtal gällande sekretessklausuler och att man inte får förhandla med andra parter. Det finns olika typer av former och varianter av dessa avtal som bolag kan skriva med andra bolag och ofta finns många olika klausuler som gör att det



³ Skellefteå kommun. (2021). Riktlinjer för möten och resor 2021-03-30 §86. Läst 2022-11-30

⁴ Trafikanalys. (2022). Styrmedel för luftfartens klimatomställning. PM: 2022:8. https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_8-styrmedel-for-luftfartens-klimatomstallning.pdf Läst 2022-10-18

⁵ Swedavia. (2021). Swedavias satsning på bioflygbränsle fortsätter – sex samarbetspartners med i årets upphandling. <https://www.swedavia.se/visby/for-press/swedavias-satsning-pa-bioflygbransle-fortsatter-sex-samarbetspartners-med-i-arets-upphandling> Läst 2022-10-15

⁶ Fly Green fund (2022). Reduktion, inte kompensation. <https://flygreenfund.se/sa-funkar-det#kompensation> Läst 2022-10-10

⁷ Trafikverket. (2020). Upphandling av fossilfritt flyg. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1509692/FULLTEXT01.pdf> Läst 2022-12-02

köpande bolaget inte är tvungna att köpa om inte leverans sker till ett visst pris eller inom en viss tid.⁸ Air Canada har till exempel gått in med kapital och lagt en köporder på 30 flygplan av Heart Aerospace.⁹ En annan typ av avtal som vi även ser i Heart Aerospace är så kallade letter of support där både SAS och BRA flyg har tecknat dessa avtal att de stödjer projektet och är intresserade av att eventuellt använda dessa plan i sin flotta. En annan form av avtal är ett offtake-avtal. Det innebär att en producent och köpare gör upp om en viss volym som de förbinder sig att köpa. Genom att fylla orderböckerna med ett offtake-avtal förbinder sig kunden sig att köpa en viss volym, vilket sänker den ekonomiska risken för investerare att gå in med ytterligare kapital.¹⁰

Kan det offentliga öka efterfrågan på biodrivmedel?

Kommuner och regioners möjlighet att göra avsiktsförklaringar (LOI) eller offtake-avtal strider mot lagen om offentlig upphandling (LOU). Det går inte att göra framtida upphandlingar utan dessa måste göras på de villkor som gäller vid aktuell tidpunkt. Därför är det svårt för kommuner och regioner att stötta tillverkningen av SAF via offtake-avtal eller via letter of intent. En kommuns roll kan i stället bli att stötta hållbar teknikutveckling i regionen på andra sätt genom att delta i olika utvecklingsprojekt. Fossilfritt flyg i norra Sverige är ett exempel där det offentliga kan försöka informera, påverka och lyfta frågan om ökad efterfrågan på biodrivmedel. I denna typ av projekt finns möjligheten att gå gemensamt och samla andra aktörer och näringsliv för att få till en omställning av flyget.

Idag finns ingen aktör som kan leverera några större volymer av SAF från skogsråvara. Därav finns ingen möjlighet för dem att kunna delta i en upphandling som en part. Utöver detta så är det ett faktum att det är oklart vilka hållbarhetskriterier man kan ställa på ett flygbränsle i en upphandling om vi skulle ha en storskalig produktion av SAF från skogsråvara idag.¹¹ Detta bör klargöras och utredas vidare. Trafikverket skriver även att Upphandlingsmyndigheten tidigare framhållit vikten av att staten och den offentliga sektorn går före i arbetet mot klimatförändringarna och att offentlig upphandling kan vara ett kraftfullt verktyg.¹²

I rapporten "Styrmedel för nya biodrivmedel - Behov och utformning av styrmedel för att främja produktion av biodrivmedel med nya tekniker" av Energimyndigheten så beskrivs att "Miljöhänsyn kan i den utsträckning en upphandlande myndighet väljer det tas vid utformningen av dels tekniska specifikationer, dels tilldelningskriterier. Genom 9 kap. i lagen om offentlig upphandling (LOU) har upphandlande myndigheter möjlighet att ställa tekniska och miljömässiga krav på det drivmedel som ska upphandlas. Enligt 9 kap. 3 § LOU får en upphandlande myndighet ange de tekniska specifikationerna som prestanda- eller funktionskrav, vari exempelvis miljöegenskaper kan ingå. Kraven får dock inte utformas på ett sätt som leder till att vissa leverantörer gynnas eller missgynnas. Det skulle strida mot likabehandlingsprincipen som kommer till uttryck i 4 kap. 1 § LOU."

Detta gör att det är en förhöjd risk för otillåten särbehandling om hänsyn tas till fabrikat, geografiskt ursprung, eller ett framställningssätt som karakteriserar bränslet samt ursprung och tillverkning. Enligt 9 kap. 6 § LOU

⁸ Persson, M. et al. (2020). Svensk juridik Andra upplagan. Stockholm: Norstedts juridik.

⁹ Woodrow, Bellamy III. (2022). Air Canada Signs Purchase Agreement for Heart's Updated ES-30 Electric Aircraft. 2022-09-20. <https://www.aviationtoday.com/2022/09/20/air-canada-signs-purchase-agreement-hearts-updated-es-30-electric-aircraft/> Läst 2022-10-23

¹⁰ Yescombe, E.R. (2013). Principles of Project Finance 2nd ed. San Diego: Elsevier Science & Technology.

¹¹ Upphandlingsmyndigheten. Personlig kommunikation. Lindback, M. 2022-05-15.

¹² Rapport Upphandling av fossilfritt flyg – En förstudie om möjligheten att avtala om fossilfri flygtrafik under allmän trafikplikt (diva-portal.org)

får inte hänvisningar användas så att det leder till att vissa leverantörer får en fördel eller nackdel. Det gör att genom att använda upphandling för att främja nya tekniker genom att ställa krav på att bränslet ska vara tillverkat med en speciell teknik, kan vara svårt.

De skriver vidare att ”Det går sannolikt inte heller att kräva att biodrivmedlet ska vara tillverkat av vissa råvaror som typiskt sett kräver nya tekniker, om det inte går att visa att dessa råvaror i sig har fördelar och inte bara är ett förtäckt sätt att stötta vissa tekniker. Däremot bör det vara möjligt att argumentera för att de råvaror som förtecknas i bilaga IX del A i förnybarhetsdirektivet – där många men inte alla kräver nya tekniker – har miljömässiga fördelar genom att inte leda till ändrad markanvändning och därmed begränsa upphandlingen till biodrivmedel från dessa råvaror.” Det innebär att det idag inte ter sig möjligt att ställa krav att biodrivmedlet måste vara producerat i Sverige då detta sannolikt bryter mot LOU. För att få fullständig klarhet gällande den juridiska tillämpningen bör frågan utredas vidare.

Hur ser företag och organisationer på köp av biodrivmedel/klimatreducering?

I projektet har vi dels byggt kunskap om möjligheten att klimatreducera tjänsteresor med flyg och hur det går till, dels informerat om vad skillnaden är mellan klimatkompensering och klimatreducering. Detta arbete har skett genom företagsträffar, genom att tala på större event så som Business arena i Umeå, Umeågalan, frukostträffar och liknande. Sammantaget finns ett stort intresse runt utvecklingen av det fossilfria flyget och möjligheterna det för med sig.

När det gäller resepolicy, där vissa organisationer har en policy att inte flyga, innebär ett fossilfritt flyg ett behov av ett annat synsätt där det är utsläppen och inte färd sättet som bör analyseras. Av den totala mängden sålt flygbränsle idag är en väldigt liten del inblandat biodrivmedel. Reduktionsplikten uppnås inte och intresset för att köpa biodrivmedel är lågt, vilket både branschföreträdare och Swedavias undersökning visar i vårt projekt. Detta gäller både för privatpersoner samt företag och organisationer.

De invändningar mot köp av biodrivmedel som vi mött kan delas in i olika kategorier.

- Osäkerhet: exempelvis om det går att boka i bokningssystemet eller om kostnaden är godkänd, att det blir ”krångligt”.
- Kostnad: att klimatreducera 100procent kostar omkring 600 kr¹³ (oktober 2022) för en enkel flygning Umeå-Stockholm.
- Ifrågasatt miljönytta och ursprung för dagens biodrivmedel: dagens biodrivmedel är oftast baserade på importerade fetter och oljor. Flera organisationer vi har intervjuat har uttryckt tveksamheter kring miljönytta för dessa bränslen.
- Kunskap: många vet fortfarande inte om att möjligheten finns, likaså förväxlas termerna ”klimatkompensering” och ”klimatreducering”.

¹³ Fly Green fund (2022). Klimatreducera. <https://flygreenfund.se/> klimatreducera Läst 2022-10-10

Möjlighet att välja till biobränsle vid bokning

Flera flygbolag, däribland Flyg Bra och SAS, erbjuder numera möjligheten att välja till hållbart bränsle vid bokning av flygresor. Bland bokningssajter finns ofta i stället möjlighet att klimatkompensera vilket kan skapa förvirring hos kunder, framför allt eftersom kostnaden är lägre jämfört med klimatreducering.

Positiv inställning men få köper

Genomgående är det en positiv inställning till att möjligheten finns att köpa biodrivmedel. Enligt projektets uppgifter är det dock långt under en procent som de facto väljer att klimatreducera. Priset för biodrivmedel är fortfarande tre till fem gånger högre än konventionellt bränsle och under år 2022 har priset för SAF ökat kraftfullt. Under dessa förutsättningar har vi svårt att se en tydlig förändring i köpbeteendet för biodrivmedel, framför allt hos konsumenter, men även bland företag och det offentliga.

Nudging och kunskaphöjning

Initialt genomfördes en undersökning (genomförd av leverantör Origo Group)¹⁴ för att samla in insikter om resenärers kunskaper, attityder, beteende samt incitament gällande flyg och klimat. Utifrån resultatet bestämdes ett antal intressanta aktiviteter som bedömdes kunna ge effekt i att uppmuntra resenärer till att köpa biobränsle, så kallad nudging.

Metoden för undersökningen var enkäter med hjälp av en webbpanel. Målgruppen var befintliga och potentiella resenärer 18 år eller äldre och boende i Västerbottens län (med ett separat fokus på Umeå), Stockholms län samt övriga Sverige. Fältperioden var 19 november till 1 december 2021. Totalt antal respondenter var 1 237 personer, varav 406 i Västerbotten (197 i Umeå), 413 i Stockholm samt 418 i övriga Sverige.

Resultatet visar att 82 procent tror att flyget står för mer än 5 procent av koldioxidutsläppen i världen och ungefär två av tre tror att det står för 10 procent eller mer. 54 procent känner inte till att Sveriges flygbransch har satt ett mål att all inrikes flygtrafik ska vara fossilfri 2030. 84 procent anser att de alltid, ofta eller ibland gör aktiva val för att minska sin klimatpåverkan. 43 procent svarar alltid eller ofta. 68 procent anser att klimatfrågan har mycket stor påverkan, ganska stor påverkan samt viss påverkan på hur de troligen kommer att resa med flyg i framtiden. 11 procent har svarat mycket stor påverkan och 21 procent ganska stor påverkan. 68 procent vet inte om att de kan köpa biobränsle för hela eller delar av sin flygresor. 67 procent anser att de kan tänka sig att köpa biobränsle för att minska klimatpåverkan av sin flygresor. 64 procent anser att de helst skulle vilja få frågan om att köpa biobränsle i samband med bokningen av flygresor. 43 procent anser att prisökningen bör vara max 10 procent för att det ska vara sannolikt för dem att köpa biobränsle. Förutom prisfrågan anses viktiga motivatorer till att köpa biobränsle bland annat vara mer information om hur deras köp reducerar utsläppen från deras flygresor och mer information om hur deras köp bidrar till fossilfritt inrikesflyg 2030.

Utifrån resultatet att det anses vara viktigt med mer information om hur köp av biobränsle reducerar klimatpåverkan utvecklades och testades så

¹⁴ Swedavia. Undersökning Swedavia Fossilfritt flyg. 2021

kallade "biobränslestånd". Stånden kan beskrivas vara en interaktiv och obemannad monter där resenärer kunde lära sig mer om flyg och klimat, dels genom frågesport och dels genom att titta på film. Frågorna i frågesporten handlade bland annat om vad biobränsle är för något och hur köp av biobränsle bidrar till Sveriges mål. Vidare kunde resenärer skanna en QR-kod i ståndet för att köpa biobränsle. Stånden utvecklades i både ett mindre och ett större format, se figur 1. Totalt placerades tre stånd ut – ett större på Stockholm Arlanda Airport, ett större på Malmö Airport samt ett mindre på Umeå Airport.



Biobränslestånd i mindre respektive större format. Foto: Fredrik Rhodin, Swedavia

Testerna av biobränslestånden visar att många resenärer har en vilja att lära sig mer om flyg och klimat vilket ligger i linje med resultatet från enkäten om att det är viktigt att veta hur man är med och bidrar till ett miljövänligare flygresande. I tabell 1 visas statistik från biobränsleståndet på Stockholm Arlanda Airport, Malmö Airport samt Umeå Airport. Viktigt att ha i åtanke är att storlek på varje flygplats skiljer sig åt och att stånden har varit uppsatta olika länge. På Arlanda är det drygt 4 400 resenärer som påbörjat frågesporten, på Umeå drygt 600 resenärer samt på Malmö drygt 140 resenärer. Det är dock färre antal resenärer som har skannat QR-koden för att köpa biobränsle. Av de som skannat QR-koden är det ingen som valt att köpa biobränsle vilket visar på att det fortsatt finns ett arbete att gå från kunskap och intresse (67 procent i enkäten var positiva till att köpa biobränsle) till faktisk handling att köpa biobränsle. Resultatet tyder ändå på att det varit positivt att ha stånden uppsatta då ämnet fått uppmärksamhet och resenärer har fått möjlighet att lära sig mer om ett miljövänligare flygresande.

Tabell 1. Statistik från bibränslestånden

| | Antal som startat frågesport | Antal som slutfört frågesport | Antal som skannat QR-kod |
|---|------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Stockholm Arlanda Airport (2 juni – 10 november 2022) | 4 409 | 1 849 | 105 |
| Umeå Airport (4 juni – 10 november 2022) | 614 | 296 | 34 |
| Malmö Airport (2 september – 10 november 2022) | 145 | 55 | 56 |

I övrigt genomfördes ett konceptarbete runt gamification för att utforska ett annat perspektiv gällande nudging och kunskapshöjning. Syftet med arbetet var att på samma sätt som bibränslestånden uppmuntra resenärer att lära sig mer om flyg och klimat och att köpa bibränsle. Detta på ett roligt och interaktivt sätt, men genom att ha med ännu tydligare inslag av spelmoment. Ett särskilt fokus i arbetet var på hur man skulle få den enskilda resenären att förstå dennes bidrag av köp av bibränsle utifrån helheten, det vill säga att många små köp tillsammans har en stor effekt. Ett exempel på spelmoment är att i likhet med bibränslestånden arbeta med frågesport, men i detta fall i sin mobiltelefon, där resenären har möjlighet att skraddarsy sin egen utbildning. Detta kan kompletteras med så kallade belöningar som resenären kan låsa upp genom att svara rätt i frågesporten. Ett annat exempel på spelmoment är att visualisera resenärens köp av bibränsle i en progressionsmätare som kopplas till diverse mål, till exempel hur den enskilde individen är med och bidrar till ett fossilfritt inrikesflyg 2030. Konceptarbetet för gamification togs inte vidare efter konceptfasen, bland annat på grund av att tekniska förutsättningar inte fanns tillgängliga.

Andra idéer har också utforskats i form av konceptarbete, men som av olika anledningar inte tagits vidare till testfasen. Exempel på sådana idéer är "Green Fast Lane" som handlar om att ge resenärer som köpt bi-bränsle åtkomst till ett snabbare flöde i säkerhetskontrollen samt "Green Lounge" som på motsvarande sätt handlar om att ge resenär åtkomst till lounge. I fallet Green Fast Lane beslutades att inte gå vidare, bland annat på grund av att teknisk lösning ansågs vara för komplicerad för att hinna utveckla inom projektiden. En annan anledning var att många resenärer bokar sin resa långt i förväg, vilket innebar att det skulle vara svårt att garantera ett giltigt erbjudande längre fram då testperioden var begränsad inom projektet. Gällande Green Lounge togs inte det vidare på grund av att vi som flygplats inte äger några lounges, de ägs vanligen av flygbolag. Ytterligare exempel som utforskats är möjlighet att bidra till köp av bi-bränsle genom att avrunda upp köp på flygplatsen. I detta fall var det bland annat tekniska och ekonomiska aspekter som gjorde att idén inte togs vidare till testfasen. Alla hyresgäster har nämligen inte moderna kassasystem samtidigt som det är svårt att möjliggöra ekonomisk redovisning på ett korrekt sätt.

Vidare har Swedavia i flera olika sammanhang vid kontakter med opinionsbildare och beslutsfattare informerat och utbildat om möjligheten att flyga på hållbart flygbränsle. Swedavia deltog i olika seminarier under Almedalsveckan 2022 där vi belyste vikten av att flyga fossilfritt med hjälp av hållbart flygbränsle, till exempel i seminariet "Hur går det egentligen

med flygets omställning?” och ”Är vätgassamhället lösningen för flygets klimatomställning?”. Andra exempel på informationsinsatser är i möten med regionala företrädare för olika politiker. Swedavia har även föreläst för flygplatsbranschen i Bryssel (Airport Council International Europé) angående möjligheterna och utmaningarna med omställningen till fossilfritt flyg med hjälp av hållbart flygbränsle. Projektet lyftes även i en presentation om hållbar innovation som Swedavia höll på Passenger Terminal Expo (PTE) i Paris i juni 2022. Vi har dessutom haft workshops tillsammans med Sjöfartsverket, MSB, Kustbevakningen och FMV om möjligheten att låta allt flyg använda hållbart flygbränsle, även räddningshelikoptrar. Swedavia har även genom 2030-sekretariatet lyft fram möjligheterna att flyga med låg klimatpåverkan. 2030-sekretariatet verkar både nationellt och på EU-arenan.



Almedalsveckan 2022 – Lena Wennberg. Foto: Swedavia

Rekommendationer

Baserat på projektets resultat samt förslag från andra rapporter och utredningar föreslås ett par åtgärder. Det offentliga bör gå före och klimatreducera sina tjänsteresor. Det ger ett viktigt signalvärde. Vidare bör flygbranschen arbeta vidare med att sprida fakta och kunskap om fossilfritt flyg och klimatreducering samt vilka möjligheter som redan idag finns.

Juridiskt är det inte helt klarlagt vilka krav som kan ställas i upphandling av biodrivmedel. De oklarheter som finns behöver utredas i likhet med de synpunkter både Trafikverket och Energimyndigheten tagit upp.



Slutord

Vi har i denna rapport beskrivit de teknikspår som är aktuella för det fossilfria flyget. Det finns lösningar som är tillgängliga redan nu, medan andra behöver mer utveckling och teknisk mognad. Många hinder återstår att lösa och dessa finns tydligt beskrivna i denna rapport. Med det sagt, möjligheterna är stora och det är viktigt att ta tillvara på dem för att klara flygets gröna omställning. Detta kommer att kräva samarbete på flera nivåer, från den lokala nivån upp till den globala. Norra Sverige har på senare år tagit initiativ och ledarskap på flera områden inom den fossilfria omställningen, och bör även inom det fossilfria flygets utveckling ta vara på de möjligheter som finns, både vad gäller nya flyglinjer, som tillverkning inom hållbart flygbränsle och övrig teknisk utveckling inom det fossilfria flyget.



Referenser

Stärkta förutsättningar för produktion av SAF – AP1

Bryngemark, E. (2019). Second generation biofuels and the competition for forest raw materials: A partial equilibrium analysis of Sweden. *Forest Policy and Economics*, 109, 102022. [https://doi.org/10.1016/j-forpol.2019.102022](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102022)

Clariant Romania. (2021). Clariant completes construction of first commercial sunliquid® cellulosic ethanol plant in Podari, Romania. <https://www.clariant.com/en/Business-Units/Biofuels-and-Derivatives/Sunliquid>
Läst: 2022-10-17

Conte, N. (2021). What's Made from a Barrel of Oil?. <https://www.visualcapitalist.com/whats-made-barrel-of-oil/> Läst: 2022-10-19

Council of the European Union. (2021). <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14151-2021-INIT/en/pdf> Läst: 2022-09-22

Dossow, M. Dieterich, V. Hanel, A. Spliethoff, H & Fendt, S. (2021). Improving carbon efficiency for an advanced Biomass-to-Liquid process using hydrogen and oxygen from electrolysis. *Renewable & sustainable energy reviews*. 152. 111670.

Dry, M. E. (2022). The Fischer–Tropsch process: 1950–2000. *Catalysis today*. Vol. 71. 227–241.

Energimyndigheten. (2021). Styrmedel för nya biodrivmedel Behov och utformning av styrmedel för att främja produktion av biodrivmedel med nya tekniker. ER 2021:22

Energimyndigheten. (2022). Drivmedel 2021. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=208409> Läst: 2022-09-07

Eur-Lex. (2018). Document 02018L2001-20181221. Directive (EU) 2018/2001 of the European parliament and of the council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEXprocent3A02018L2001-20181221> Läst: 2022-11-07

European bioplastics. (2022). Bioplastics market data. <https://www.european-bioplastics.org/market/> Läst: 2022-11-09

Europeiska kommissionen. (2021). Commission presents Renewable Energy Directive revision. https://ec.europa.eu/info/news/commission-presents-renewable-energy-directive-revision-2021-jul-14_en Läst: 2022-09-09

Europeiska kommissionen. (2021). Pressmeddelande 14 juli. Europeiska gröna given – EU-kommissionen föreslår att ekonomin och samhället ställs om för att infria klimatambitioner. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/IP_21_3541 Läst: 2022-09-09

Europeiska unionens råd. (2022). <https://www.regeringen.se/49f43d/contentassets/d5414b47c46d-4c05a4bb112bf5b7e736/eu-kommissionens-forslag-till-forordning-om-restaurering-av-natur.pdf> Läst: 2022-09-22

Fossilfritt flyg 2045. (2021). Vägen till fossilfritt flyg 2045, agerande hinder och behov. <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1523448/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-09-09

Fossilfritt Sverige. (2021). Strategi för fossilfri konkurrenskraft - Bioenergi och bioråvara i industrins omställning. <https://fossilfritt sverige.se/wp-content/uploads/2021/11/Fossilfritt-Sveriges-biostrategi.pdf> Läst: 2022-09-12

Föreningen Skogsindustrierna. (2022). EU:s mål att återställa natur måste balanseras med andra samhällsmål. <https://www.skogsindustrierna.se/aktuellt/nyheter/2022/06/EUs-mal-om-naturestaurering/> Läst: 2022-09-27

Föreningen Svenskt Flyg. (2018). Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Flygbranschen. <https://www.svenskt-flyg.se/wp-content/uploads/2018/04/FprocentC3procentA4rdplan-fprocentC3procentB6r-fossilfri-konkurrenskraft-flygbranschen.pdf> Läst: 2022-09-12

Grahn, M. Malmgren, E. Korberg, A. D. Taljegard, M. Anderson, J.E. & Brynolf, S. (2022). Review of electrofuel feasibility — cost and environmental impact. Progress in Energy. Vol 4. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac7937>

Green Car Congress. (2021) <https://www.greencarcongress.com/2021/11/20211104-rabo.html> Läst: 2022-11-22

Gutiérrez, A. (2021). 9 - Production of renewable aviation fuel at industrial scale: opportunities and challenges. Sustainable Biofuels. Elsevier Inc. pp. 247–267.

ICAO. (2021). <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx> Läst: 2022-08-23

IEA Bioenergy. (2020). Bio-Based Chemicals - A 2020 Update. Task 42: 2020: 01. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/Bio-based-chemicals-a-2020-update-final-200213.pdf> Läst: 2022-11-09

Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet Umeå. (2021). Skogsdata 2021. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2021_webb.pdf Läst: 2022-11-09

Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet Umeå. (2022). Skogsdata 2022. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2022_webb.pdf Läst: 2022-11-09

Leijenhorsta, E. J. et al. (2015). Entrained flow gasification of straw- and wood- derived pyrolysis oil in a pressurized oxygen blown gasifier. Biomass and Bioenergy. Vol. 79. 166-176

Material Economics. (2021). Klimatagenda for Sverige – en plan som kombinerar netto-noll utsläpp med

industriellt värdeskapande.

Michaga, M.F.R. Michailos, S. Hughes, K.J. Ingham, D. & Pourkashanian, M. (2021). 10 - Techno-economic and life cycle assessment review of sustainable aviation fuel produced via biomass gasification. Sustainable Biofuels. Elsevier Inc. pp. 269–303.

Ojeda, M & Rojas, S. (2010). Biofuels from Fischer-Tropsch synthesis. New York, Nova Science Publishers.

Person, L. (2021). Mapping the market of unrefined forest industry by-products in northern Sweden – Industry by-product variation, county supply-demand balance, and optimization of transport cost. Master's thesis in Forest Science. 2021:10 Umeå.

Preem. (2018). Svenska råvaror: lignin. <https://www.preem.se/om-preem/insikt-kunskap/2018/svenska-ravaror-lignin/> Läst: 2022-10-18

Preem. (2021). Preem årsredovisning 2021. https://www.preem.se/globalassets/om-preem/finansiell-info/arsredovisningar/2021/PREEM_ar_2021.pdf Läst: 2022-10-18

Quayle, A & von Eichwald, S. (2022). Produktionsanläggning för hållbart flygbränsle planeras i Långsele. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/industrisatsningen-i-langsele> Läst: 2022-10-19

Renfuel. (2018). Pressmeddelande, 24 maj. <https://renfuel.se/preem-och-renfuel-skapar-varldens-forsta-ligninanlaggning-for-biodrivmedel/> Läst: 2022-10-18

SCA & St1. (2021). Pressmeddelande, 20 september. <https://www.sca.com/sv/om-oss/Investerare/pressmeddelanden/2021-09/sca-och-st1-startar-samagt-bolag-for-att-producera-och-utveckla-biodrivmedel/> Läst: 2022-10-13

Setra. (2021). Pressmeddelande, 20 september. <https://setragroup.com/sv/press/pressmeddelanden/2021/pyrocell-har-startat-sin-produktion/> Läst: 2022-10-18

Sjöblom, J. (2022). LRF kritiska till EU-förslagen: Vi borde fokusera på att producera mer mat och förnybar energi. <https://www.lrf.se/mitt-lrf/nyheter/riks/2022/06/lrf-kritiska-till-eu-forslagen/> Läst: 2022-09-27

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet. (2022). Volymtillväxten för träd i Sverige under 00-talet. Arbetsrapport 540. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/arbetsrapport_540.pdf Läst: 2022-11-09

Staffas, L., Hansen, K., Sidvall, A. & Munthe, J. (2015). Råvaruströmmar från skogen-tillgång och samband. (C 116). Stockholm: Svenska Miljöinstitutet

Statista. (2022). <https://www.statista.com/statistics/1310495/lactic-acid-market-volume-worldwide/> Läst: 2022-10-17

Svebio, Swedish Bioenergy Association. (2022). How restrictions on “primary woody biomass” will impact Swedish energy and climate development. <https://www.svebio.se/wp-content/uploads/2022/11/Primary-woody-biomass-impact-assessment.pdf> Läst: 2022-12-08

Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2016). HEFA/HVO, Hydroprocessed Esters and Fatty Acids. F3 Fact sheet - Category: Fuels. Nr 5. <https://f3centre.se/sv/faktablad/hefa-hvo-hydroprocessed-esters-and-fatty-acids/> Läst: 2022-09-05

Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2020). Bioflygbränsle, Biojet. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel. Nr 8. <https://f3centre.se/sv/faktablad/bioflygbransle-biojet/> Läst: 2022-09-05

Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel. (2021). Elektrobränslen. F3 faktablad - Kategori: Drivmedel. Nr 9. <https://f3centre.se/sv/faktablad/elektrobranslen/> Läst: 2022-10-31

TreePower. <https://www.treepower.se/vad-ar-tree-power/> Läst: 2022-10-19

Uniper. <https://www.uniper.energy/sweden/jetfuel> Läst: 2022-10-19

Vattenfall. (2021). Pressmeddelande, 3 november. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2021/sas-vattenfall-shell-och-lanzatech-ska-undersoka-mojligheten-att-producera-hallbart-flygbransle> Läst: 2022-10-18

Batteridrivet elflyg – AP2

AiR-e. air-e.nl. <http://air-e.nl/announcement/first-manned-electric-aircraft-militky-mb-e1/>

Läst 2022-12-06

Alfredsson, Hampus et al. (2022). "Infrastrukturmodellering för storskalig introduktion av elflyg och flygtrafikledning (MODELflyg)" <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1688604/FULLTEXT01.pdf>

Läst: 2022-12-04

Braathens Regional Airlines. Flygbra.se <https://press.flygbra.se/posts/pressreleases/bra-tecknar-nytt-avtal-med-heart-aerospace> Läst: 2022-12-04

CharIN. Charin.global. <https://www.charin.global/technology/mcs/> Läst 2022-12-06

Coleman, Peter. (2006). "Shopping Environments" (ISBN 9780750660013). Routledge

Dung D. Nguyen , Utku Kale , Agnes Wanjiku Wangai, (2020) "Total Life Cycle Cost and Emission of Electric, Hybrid-electric aircraft." https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0635_paper.pdf Läst: 2022-11-22

Emilsson Erik, Dahllöf Lisbeth. (2019). "Lithium-Ion Vehicle Battery Production". ivl.se. <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf> Läst 2022-11-05

Energimyndigheten. (2022) "En översikt över energiläget i Sverige" energimyndigheten.se <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/en-oversikt-over-energilaget-i-sverige/> Läst: 2022-11-22

Energimyndighetens statistikdatabas. Energimyndigheten.se. <http://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/?rxid=2c91707b-7c5e-405b-b132-3aac75a4a172> Läst 2022-11-22

Flash Battery. Flashbattery.tech. <https://www.flashbattery.tech/en/how-solid-state-batteries-work/#:~:text=Accordingto20toprocent20the20latest20studies,aprocent20lighter20and20smaller20battery.> Läst: 2022-12-05

Heart Aerospace. Heartaerospace.com <https://heartaerospace.com/faq/> Läst: 2022-11-28

Innovation origins. "Producing gasoline and diesel emits more CO2 than we thought" innovation-origins.com <https://innovationorigins.com/en/producing-gasoline-and-diesel-emits-more-co2-than-we-thought/> Läst: 2022-11-22

Kvarkenrådet. Kvarken.org. https://www.kvarken.org/wp-content/uploads/2022/06/FAIR_Regional_Report_FINAL-VERSION.pdf Läst 2022-12-08

Kvarkenrådet. Kvarken.org. https://www.kvarken.org/wp-content/uploads/2021/06/Electric_aviation_2021_technology_overview.pdf Läst 2022-12-05

Lundahl Joel, Lindqvist, Pontus. (2020). "Livscykeljämförelse av klimatpåverkan från elektriskt och fossilbränsleddrivna flygplan på tre svenska inrikesrutter". <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1438056/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-11-22

Mako Aerospace. Mako-aerospace.com. <https://mako-aerospace.com/mako-aerospace-demo-day-2022/> Läst: 2022-12-05

Nasa. Nasa.gov. <https://www.nasa.gov/aeroresearch/nasa-solid-state-battery-research-exceeds-initial-goals-draws-interest> Läst 2022-12-05

Pipistrel. Pipistrel-aircraft.com. <https://www.pipistrel-aircraft.com/products/general-aviation/velis-electro/> Läst 2022-12-05

Powercell. Powercellgroup.com. <https://powercellgroup.com/investor/press-releases/press-release/?id=C93C0E8F70FF1B97> Läst: 2022-12-05

SAS- Scandinavian Airlines. Sasgroup.net <https://www.sasgroup.net/newsroom/press-releases/2022/sas-signs-letter-of-support-with-heart-aerospace/> Läst: 2022-12-04

Shahwan, Kawthar. (2021). "Operating Cost Analysis of Electric Aircraft on Regional Routes" <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1631695/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-12-04

Sierra. "Hey Mr. Green! How much CO2 is generated by producing and transporting a gallon of gas?". Sierraclub.org <https://www.sierraclub.org/sierra/ask-mr-green/hey-mr-green-how-much-co2-generated-producing-and-transporting-gallon-gas> Läst: 2022-11-25

Simpleflying. Simpleflying.com. <https://simpleflying.com/evia-aero-eviation-alice-order/> Läst: 2022-12-05

Simpleflying. Simpleflying.com. <https://simpleflying.com/zeroavia-hydrogen-plane-crash-cause/> Läst: 2022-12-05

Sjöstrand, Helena. (2001). "Passenger assessments of quality in local public transport- measurement, variability and planning implications." <https://lup.lub.lu.se/search/files/4715936/744337.pdf> Läst: 2022-12-04

Solvoll Gisle, Sandberg Hanssen Thor-Erik. (2022). "Public Service Obligation as a tool for implementing flight routes operated by electric aircrafts" <https://www.kvarken.org/wp-content/uploads/2022/09/FoURapport8422.pdf> Läst: 2022-12-05

Statistikmyndigheten (SCB). Scb.se. <https://scb.se> Läst 2022-11-22

Sundsvalls Kommun "Översiktsplan Sundsvall 2021". Sundsvall.se. <https://sundsvall.se/samhallsplanering-och-trafik/samhallsbyggnad-och-planering/oversiktsplan> Läst: 2022-12-04

Swedavia AB. Swedavia.com. <https://www.swedavia.com/globalassets/om-swedavia/roll-och-uppdrag/ume-mp-exec-ver-2017-02-22-liten-filstorlek.pdf>

Trafikanalys. (2022). "Styrmedel för luftfartens klimatomställning" https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_8-styrmedel-for-luftfartens-klimatomstallning.pdf Läst: 2022-12-05

Trafikverket.(2012). "Kol-TRAST, Planeringshandbok för en attraktiv och effektiv kollektivtrafik" https://bransch.trafikverket.se/contentassets/4455944109084c3a9271d17f2b4c43fe/kol_trast.pdf Läst: 2022-12-04

Trafikverket. (2021) " Upphandling av flygtrafik från oktober 2023". Upphandling av flygtrafik från oktober 2023 – utredning inför beslut om allmän trafikplikt (diva-portal.org) Läst 2022-12-08

Trafikverket. (2020). "Upphandling av fossilfritt flyg" <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1509692/FULLTEXT01.pdf> Läst: 2022-12-0

Travel Radar. Travelradar.aero. <https://travelradar.aero/united-airlines-plan-electric-planes-for-short-flights/> Läst: 2022-12-05

Vattenfall. " EPD ger förutsättning för klimatneutralitet". energyplaza.vattenfall.se. <https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/epd-ger-forutsattning-for-klimatneutralitet> Läst: 2022-11-22

Västra Götalandsregionen. "Västra Götalandsregionens trafikförsörjningsprogram". vregion.se. <https://www.vregion.se/kollektivtrafik/sa-styrs-kollektivtrafiken/trafikforsorjningsprogrammet/> Läst: 2022-12-04

Förstudie Vätgas – AP3

Aerocorner.com, "Bombardier CRJ 900" <https://aerocorner.com/aircraft/bombardier-crj-900/> [Använd 11 10 2022].

Aerospace Technology Institute, "Hydrogen Infrastructure and Operations" 2022.

Ahlström et al., "Climate-positive and carbon efficient bio-jet fuels, are they possible?" 2022.

Airbus Deutschland GmbH, "Final Technical Report, CRYOPLANE" , Sept. 2003 https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dglr/hh/text_2004_02_26_Cryoplane.pdf [Använd 18 11 2022]

Airbus, "The ZEROe demonstrator has arrived" Airbus, 22 2 2022. <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-02-the-zeroe-demonstrator-has-arrived> [Använd 11 10 2022].

Airbus, "Towards the world's first zero-emission commercial aircraft" <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe> [Använd 11 10 2022].

Aircraft owner's & operator's guide, "ATR family fuel burn" 2007. https://www.aircraft-commerce.com/wp-content/uploads/aircraft-commerce-docs1/Aircraftprocent20guides/ATRprocent2042procent2072/ISSUE49_ATR42procent2072FUEL.pdf [Använd 11 10 2022].

Airports Council International, Aerospace Technology Institute, "Integration of Hydrogen Aircraft into the Air Transport System: An Airport Operations and Infrastructure Review" 2020.

Anna Qualye, Pierre Ragnehag, "Bränsle av vatten och utsläpp – så här går det till" SVT, 2 6 2022. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/bransle-av-vatten-och-utslapp-sa-gar-det-till> [Använd 14 10 2022].

Boeing, "An Eye in the Sky" <https://www.boeing.com/defense/phantom-eye/> [Använd 11 10 2022].

Bundesministerium für Bildung und Forschung, "Nationale Wasserstoffstrategie" 2020. <https://www.bmbf.de/de/nationale-wasserstoffstrategie-9916.html> [Använd 22 06 2021].

Business Wire, "Universal Hydrogen and Connect Airlines Announce Firm Order for Conversion of 75 ATR 72-600 Regional Aircraft to Be Powered by Green Hydrogen" Business Wire, 09 06 2022. <https://www.businesswire.com/news/home/20220608006035/en/Universal-Hydrogen-and-Connect-Airlines-Announce-Firm-Order-for-Conversion-of-75-ATR-72-600-Regional-Aircraft-to-Be-Powered-by-Green-Hydrogen> [Använd 31 10 2022].

Carolina Palma, "Shell to Build Renewable Diesel, SAF Biorefinery in Rotterdam" Oleochem Analytics, 17 9 2021. <https://oleochemanalytics.com/2021/09/17/shell-to-build-renewable-diesel-saf-biorefinery-in-rotterdam/> [Använd 14 10 2022].

Composites World, "Universal Hydrogen Series A funding to build and test full-scale hardware for hydrogen commercial aircraft," 26 4 2021. <https://www.compositesworld.com/news/universal-hydrogen-series-a-funding-to-build-and-test-full-scale-hardware-for-hydrogen-commercial-aircraft> [Använd 11 10 2022].

Dan Feldman, Lachlan Poustie, Frederick Lazell och Kate Buchanan, "GREEN HYDROGEN USE IN INDUSTRY PROMOTED BY REVISED RED II" Shearman & Sterling, 16 07 2021. <https://www.shearman.com/Perspectives/2021/07/Green-Hydrogen-Use-in-Industry-Promoted-by-Revised-RED-II> [Använd 31 10 2022].

David J. Travis, Andrew M. Carleton, Ryan G. Lauritsen, "Climatology: Contrails reduce daily temperature range" Nature, nr 418, 2022.

David Kaminski-Morrow, "Airbus and Air France spearhead Paris bid to advance hydrogen-hub airports", 11 02 2021, <https://www.flightglobal.com/air-transport/airbus-and-air-france-spearhead-paris-bid-to-advance-hydrogen-hub-airports/142385.article> [Använd 15 11 2022]

Delta, "A decarbonized future for flight: Delta and Airbus collaborate to pull forward the future of hydrogen fuel" 17 03 2022 <https://news.delta.com/decarbonized-future-flight-delta-and-airbus-collaborate-pull-forward-future-hydrogen-fuel> [Använd 09 11 2022]

EASA, "Aerodromes" <https://www.easa.europa.eu/domains/aerodromes> [Använd 18 11 2022]

easyJet, "Net Zero Pathway", <https://corporate.easyjet.com/~media/Files/E/Easyjet/documents/easyjet-nz-roadmap.pdf> [Använd 03 11 2022].

ELSA Industry, "Hydrogen Systems", https://www.elsaindustry.eu/home/rd/hydrogen_systems/ [Använd 03 11 2022].

Energimyndigheten, "Energiläget" 2022.

Energimyndigheten, "Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak", ER 2021:34.

Erik Furusjö, "Bio-elektrobränslen - Hybriddrivmedel för förbättrad resurseffektivitet" 2022.

European Commission, "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe" <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301> [Använd 03 11 2022].

European Commission, "Project pipeline of the European Clean Hydrogen Alliance", https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-clean-hydrogen-alliance/project-pipeline_en [Använd 03 11 2022].

European Commission, "Alliance for Zero-Emission Aviation" European Commission, https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-aeronautics-industry/alliance-zero-emission-aviation_en [Använd 31 10 2022].

European Commission, "LIST OF MEMBERS OF THE ALLIANCE FOR ZERO-EMISSION AVIATION [25 October 2022]" European Commission, 25 10 2022. https://defence-industry-space.ec.europa.eu/system/files/2022-10/AZEaprocent20-procent20Listprocent20ofprocent20Members_251022_0.pdf [Använd 31 10 2022].

European Commission, "Renewable energy directive" European Commission, https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en [Använd 31 10 2022].

European Council, "Fit for 55" <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/#what> [Använd 03 11 22]

European Economic and Social Committee, "ReFuelEU Aviation" <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/refueleu-aviation> [Använd 03 11 22]

European Hydrogen Backbone, "The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative" <https://www.ehb.eu/> [Använd 11 10 2022].

FCH JU, "Hydrogen-powered aviation - A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050" 2020.

FCH JU, "PDA Major Capital Equipment Costs Form," https://www.fch-regions.eu/wp-content/uploads/2020/02/PDA_Major-Capital-Equipment-Costs-Form.pdf [Använd 11 10 2022].

Fossilfritt Sverige, "Färdplan för Fossilfri Konkurenskraft" 202

Fossilfritt Sverige, "Strategi för fossilfri konkurenskraft - vätgas" Fossilfritt Sverige, 2021

FuelCellsWorks, "United Airlines Makes Investment in Hydrogen Fuel Cell-Electric Engine Developer ZeroAvia" 13 12 2021, <https://fuelcellsworks.com/news/united-airlines-makes-investment-in-hydrogen-fuel-cell-electric-engine-developer-zeroavia/> [Använd 15 11 2022]

Graeme Roberts, "Daimler Truck trials liquid hydrogen" Just Auto, 27 06 2022. <https://www.just-auto.com/news/daimler-truck-trials-liquid-hydrogen/> [Använd 31 10 2022]

Havyard, "Havyard Hydrogen" <https://www.havyard.com/brands--solutions/havyard-hydrogen/?pre-view=true> [Använd 31 10 2022]

Hoelzen et al., "Hydrogen-powered aviation and its reliance on green hydrogen infrastructure - Review and research gaps," International journal of hydrogen energy, nr 47, pp. 3108-3130, 2022.

Hydrogen Central, "What is 'Additionality' and Why Does The Hydrogen Industry Need It? – Hycap" 4 10 2022. <https://hydrogen-central.com/what-additionality-why-hydrogen-industry-need-hycap/> [Använd 31 10 2022].

Hydrogen Energy Supply Chain, "The Suiso Frontier" 2022. <https://www.hydrogenenergysupplychain.com/supply-chain/the-suiso-frontier/> [Använd 31 10 2022].

Hydrogen Tools, "INTERNATIONAL HYDROGEN FUELING STATIONS," 30 9 2022. <https://h2tools.org/hyarc/hydrogen-data/international-hydrogen-fueling-stations>. [Använd 14 10 2022].

Ian Neeser, "LIQUID HYDROGEN BULK STORAGE INTRODUCTION" <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Liquidprocent20H2procent20Workshop-Chart.pdf> [Använd 11 10 2022]

IATA, "Fuel Servicing Guidance Materials" <https://www.iata.org/en/publications/store/fuel-efficiency-guidelines/> [Använd 18 11 2022]

ICAO, "Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations, Eighth Edition", juli 2018, https://www.iacm.gov.mz/app/uploads/2018/12/an_14_v1_Aerodromes_8ed_2018_rev.14_01.07.18.pdf [Använd 18 11 2022]

Indexmundi.com, "Jet Fuel Production by Country" <https://www.indexmundi.com/energy/?product=jet-fuel&graph=production&display=rank> [Använd 12 10 2022].

Ingrid Bye Løken, "Hydrogen supply to Norwegian airports, Logistics and market prefeasibility study", Report No. 2022-0463, DNV Energy Systems, 4/22/2022

Innovair, "NRIA Flyg – Prioriterade teknikområden" <https://innovair.org/nria-flyg/nria-flyg-prioriterade-teknikomraden/> [Använd 03 11 22]

Innovair, "NRIA Flyg 2020" <https://innovair.org/wp-content/uploads/2020/02/nriaflyg2020.pdf> [Använd 03 11 22]

International Civil Aviation Organization, "LTAG Report" ICAO, 2019. <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx> [Använd 01 11 2022]

International Energy Agency, "Global Hydrogen Review 2022" 2022.

ISO, "ISO/PAS 15594:2004 Airport hydrogen fuelling facility operations" <https://www.iso.org/standard/28327.html> [Använd 18 11 2022]

Jayant Mukhopadhaya; Dan Rutherford, "PERFORMANCE ANALYSIS OF EVOLUTIONARY HYDROGEN-POWERED AIRCRAFT" ICCT, 2022.

Jet-A1-Fuel.com, "Jet Fuel price Today, 10 October 2022" <https://jet-a1-fuel.com/#jeta1> [Använd 10 10 2022]

Joint Inspection Group <https://www.jig.org/> [Använd 18 11 2022]

Kommunikation med Joint Inspection Group (JIG), juli 2022

Laurie Dragonas, "Fueling Inspections, International and FAA Fuel Fire Safety, ICAO Annex 14, Chapter 9", Pres. to: ICAO / FAA Aerodrome Certification Inspectors Workshop for the Caribbean Region, FAA, June 2012. <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2012/ICAOFAAAGACertification2012/ICAOFAACertification14.pdf> [Använd 18 11 2022]

Luca Tamburelli, "The Tupolev which flew on hydrogen 32 years ago" 27 09 2020. <http://blog.privatejetfinder.com/tu-155-hydrogen/> [Använd 11 10 2022]

Lufthansa group, "Hydrogen Aviation Lab Hamburg" <https://cleantechhub.lufthansagroup.com/en/focus-areas/between-and-beyond/hydrogen-aviation-lab-hamburg.html> [Använd 09 11 2022]

Mark Finlay, "How The Martin B-57B Made Hydrogen-Powered Flights In The 1950s" Simpleflying, 05 03 2022. <https://simpleflying.com/martin-b-57b-hydrogen-powered-flights-1950s/> [Använd 31 10 2022].

Monterey Gardiner, "Energy requirements for hydrogen gas compression and

NASA, "LIQUID HYDROGEN AS A PROPULSION FUEL, 1945-1959" <https://history.nasa.gov/SP-4404/ch8-6.htm> [Använd 11 10 2022].

NFPA, "Standard for Aircraft Fuel Servicing", Current Edition: 2022 <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=407> [Använd 18 11 2022]

NIST, "Thermophysical Properties of Fluid Systems" 03 03 2022. <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> [Använd 03 11 2022]

Nordpool Group, "nordpoolgroup.com" <https://www.nordpoolgroup.com/> [Använd 11 10 2022].

Omer Majeed, "Beechcraft 1900D: Fuel, Emissions & Cost Savings Operational Analysis" 21 2 2012. [Online]. Available: <http://www.srs.aero/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/SRS-TSD-007-Rev-0-1900D-Fuel-Emissions-Cost-Savings-Operational-Analysis.pdf> [Använd 11 10 2022].

Patric Sellén, Micke Nyberg, "Experten förklarar: Så ska grönt flygbränsle framställas i Långsele" SVT, 28 4 2022. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasternorrland/experten-forklarar-sa-ska-gront-flyg-bransle-framstallas-i-langsele> [Använd 14 10 2022]

Paul Shillito, "Project Suntan – The Lockheed CL-400" Curious Droid, 2 1 2020. <https://curious-droid.com/1290/project-suntan-the-lockheed-cl-400/> [Använd 11 10 2022]

PRHYDE, "PRHYDE" 30 08 2021. <https://prhyde.eu/> [Använd 03 11 22]

Rachel Parkes, "Scrapped | EU's controversial 'additionality' rules for green hydrogen are history after European Parliament vote" Recharge, 14 09 2022. <https://www.rechargenews.com/energy-transition/scrapped-eus-controversial-additionality-rules-for-green-hydrogen-are-history-after-european-parliament-vote/2-1-1299195> [Använd 31 10 2022].

Regeringskansliet, "En svensk flygstrategi – för flygets roll i framtidens transportsystem" [Använd 03 11 22]

RISE, "H2JET - Utveckling av nyckelkomponenter för vätgasdrivna flygmotorer" <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/h2jet> [Använd 01 11 2022]

RISE, "Studie över elektrolys-teknologier idag och i framtiden" RISE, 2021

RISE, "Vätgas på Västkusten" 2022.

RISE; AB Volvo, "Flytande väte som ett logistiskt bränsle – En förstudie" Energimyndigheten, Eskilstuna, 2022.

RISE; LTU, "Prestudy H2ESIN: Hydrogen energy system and infrastructure in Northern Scandinavia and Finland" 2022

Schmidtchen et al., "Hydrogen aircraft and airport safety", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 1, Iss. 4, Dec. 1997, pp239-269 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032197000075> [Använd 18 11 2022]

Sérgio Ramos Pereira; Tânia Fontes, Margarida C. Coelho, "Can hydrogen or natural gas be alternatives for aviation? – A life cycle assessment" International Journal of Hydrogen Energy, vol. 39, nr 25, pp. 13266-13275, 2014.

Shahkar Ali, "South Korean army buys hydrogen-powered drones from Doosan", H2Bulletin 17 03 2021. <https://www.h2bulletin.com/south-korean-army-buys-hydrogen-powered-drones-from-doosan/> [Använd 03 11 2022]

Sveriges Miljömål, "Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter" <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-fran-inrikes-transporter/> [Använd 03 11 22]

Sveriges Television, "Flygplan ska tanka återanvänd koldioxid" SVT, 3 11 2021.
<https://www.svt.se/nyheter/inrikes/flyget-ska-tankat-ateranvand-koldioxid> [Använd 14 10 2022].

Swedavia, "Departures," <https://www.swedavia.com/umea/departures> [Använd 11 10 2022].

The Boeing Company, "737-600 performance summary" https://web.archive.org/web/20140725005129/http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/startup/pdf/737ng_perf.pdf [Använd 11 10 2022].

The Engineering Toolbox, "Fuels - Higher and Lower Calorific Values" https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html [Använd 11 10 2022].

Trafikanalys, "Luftfart 2021" 2022.

Trafikanalys, "Luftfart," <https://www.trafa.se/luftfart/> [Använd 11 10 2022].

Transportstyrelsen, "Regler för luftfart" <https://transportstyrelsen.se/sv/Regler/sok-ts-foreskrifter/?no-nempty=true&q=TSFS&rulenummer=&trafikslag=air&serie=&typ=> [Använd 18 11 2022]

United Nations, "The Paris Agreement" <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> [Använd 03 11 22]

Univeral Hydrogen, "Regional Aircraft," <https://hydrogen.aero/product/> [Använd 11 10 2022].

Valius Venckunas, "South Korea's LIG Nex1 reveals hydrogen-powered cargo drone", Aerotime hub, 21 10 2021. <https://www.aerotime.aero/articles/29249-south-korean-lig-nex1-reveals-hydrogen-powered-cargo-drone> [Använd 03 11 2022].

Vätgas Sverige, "De vill bygga en 100 mil lång vätgasledning" <https://vatgas.se/2022/05/10/de-vill-bygga-en-100-mil-lang-vatgasledning/> [Använd 11 10 2022]

Vinay Bhaskara, "ANALYSIS: A320neo vs. 737 MAX: Airbus is Leading (Slightly) – Part II" 5 2 2016. <https://web.archive.org/web/20160206082857/http://airwaysnews.com/blog/2016/02/05/a320neo-vs-737-max-pt-ii/> [Använd 11 10 2022].

xe.com, "Convert US Dollars to Swedish Kronor" <https://www.xe.com/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=SEK> [Använd 10 10 2022].

Xfly, "We love doing our part", <https://xfly.ee/sustainability/> [Använd 03 11 2022]

Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, "Thermodynamics - An Engineering Approach, McGraw-Hill" 2011.

ZeroAvia, "First Movements of ZeroAvia's #Dornier228 Aircraft" 13 09 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=CO0HCDGjFNY> [Använd 11 10 2022]

ZeroAvia, "ZeroAvia Completes World First Hydrogen-Electric Passenger Plane Flight" 25 09 2022. <https://www.zeroavia.com/press-release-25-09-2020> [Använd 11 10 2022].

ZeroAvia, "ZeroAvia.com" <https://www.zeroavia.com/> [Använd 11 10 2022].

Biodrivmedel – AP4

Energimyndigheten (2021). ER 2021:22 Styrmedel för nya biodrivmedel, Behov och utformning av styrmedel för att främja produktion av biodrivmedel med nya tekniker. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=201409> Läst 2022-10-15

Fly Green fund (2022). Klimatreducera. <https://flygreenfund.se/klimatreducera> Läst 2022-10-10

Fly Green fund (2022). Reduktion, inte kompensation. <https://flygreenfund.se/sa-funkar-det#kompensation> Läst 2022-10-10

Fossilfritt Sverige. (2018). Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Flygbranschen. https://fossilfritt sverige.se/wp-content/uploads/2020/10/ffs_flygbranschen.pdf Läst 2022-12-05

Föreningen Svenskt Flyg Intresse AB. (2021). Vägen till fossilfritt flyg 2045. <https://www.svensktflyg.se/fardplanen/projekt/fossilfritt-flyg-2045/> Läst 2022-12-05

Kvarkenrådet. (2022). Fair Final report – How to accelerate the implementation of electric regional aviation. <https://www.kvarken.org/projekt/fair-final-report-how-to-accelerate-the-implementation-of-electric-regional-aviation/> Läst 2022-12-05

Persson, M. et al. (2020). Svensk juridik Andra upplagan. Stockholm: Norstedts juridik.

Regeringskansliet. (2019). Biojet för flyget, SOU 2019:11. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/sta-tens-offentliga-utredningar/2019/03/sou-201911/> Läst 2022-11-03

Regeringskansliet. (2019). Biojet för flyget, SOU 2019:11. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/sta-tens-offentliga-utredningar/2019/03/sou-201911/> Läst 2022-11-03

Skellefteå kommun. (2021). Riktlinjer för möten och resor 2021-03-30 §86. Läst 2022-11-30

Swedavia. (2021). Swedavias satsning på bioflygbränsle fortsätter – sex samarbetspartners med i årets upphandling. <https://www.swedavia.se/visby/for-press/swedavias-satsning-pa-bioflygbransle-fortsat-ter--sex-samarbetspartners-med-i-arets-upphandling> Läst 2022-10-15

Swedavia. (2021). Swedavias satsning på bioflygbränsle fortsätter – sex samarbetspartners med i årets upphandling. <https://www.swedavia.se/visby/for-press/swedavias-satsning-pa-bioflygbransle-fortsat-ter--sex-samarbetspartners-med-i-arets-upphandling> Läst 2022-10-15

Swedavia. Undersökning Swedavia Fossilfritt flyg. 2021

Trafikanalys. (2022). Styrmedel för luftfartens klimatomställning. PM: 2022:8. https://www.trafa.se/globalassets/pm/2022/pm-2022_8-styrmedel-for-luftfartens-klimatomstallning.pdf Läst 2022-10-18

Trafikverket. (2020). Upphandling av fossilfritt flyg. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1509692/FULLTEXT01.pdf> Läst 2022-12-02

Umeå kommun. (2022). Klimatneutrala Umeå. <https://www.umea.se/klimatneutral> Läst 2022-10-01

Woodrow, Bellamy III. (2022). Air Canada Signs Purchase Agreement for Heart's Updated ES-30 Electric Aircraft. 2022-09-20. <https://www.aviationtoday.com/2022/09/20/air-canada-signs-purchase-agreement-hearts-updated-es-30-electric-aircraft/> Läst 2022-10-23

Yescombe, E.R. (2013). Principles of Project Finance 2nd ed. San Diego: Elsevier Science & Technology.



Fossilfritt Flyg

I NORRA SVERIGE