

Energimyndighetens titel på projektet – svenska H2JET	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska H2JET	
Universitet/högskola/företag GKN Aerospace Sweden AB	Avdelning/institution Global Technology Centre
Adress Flygmotorvägen 1	
Namn på projektledare Patrik Johansson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Chalmers, KTH, LTH , HV, RISE, Oxeon AB	
Nyckelord: 5-7 st Flyg, Vätgas, Fossilfritt, Flygmotor, Hållbarhet	

Förord

Projektet H2JET har finansierats av energimyndigheten samt deltagande industrier GKN Aerospace Sweden AB och Oxeon AB. De akademiska partner som deltagit i projektet är Chalmers, KTH, LTH, HV och RISE.

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Innehållsförteckning	1
Sammanfattning	2
Summary.....	2
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	4
Motorfunktion och hållbarhet (GKN).....	5
Utveckling av H2-bränslepumpar (GKN, LTH).....	6
Utveckling av H2-bränslerör i kompositmaterial (GKN, Oxeon, RISE).....	8
Utveckling av motorintegrerade H2-förvärmare (GKN, Chalmers, KTH, Högskolan Väst)	10
Sammanfattning av Resultat	12
Diskussion.....	14
Publikationslista.....	15
Referenser, källor.....	15
Bilagor	16

Sammanfattning

Inom H2JET har teknologier för kritiska delsystem utvecklats för användande av kryogent väte som bränsle för framtida fossilfria flygplan och flygmotorer. Projektet har fokuserat på bränslesystemen närmast flygmotorn och då specifikt högtrycksbränslepump, bränslerör för kryogena temperaturer samt motorintegrerad värmeväxlare som förvärmer det kryogena vätet genom att använda överskottsvärmen i motorns avgaser. Dessutom har övergripande studier genomförts för motor och flygplan för kravsättning av funktioner, hållbarhetsanalyser och utvärdering av projektresultat på flygsystemet. Projektet har koordinerats av GKN Aerospace Sweden AB och övriga partner har varit Chalmers Tekniska Högskola, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Lunds Tekniska Högskola (LTH), Högskolan Väst (HV), Research Institutes of Sweden (RISE) samt Oxeon AB.

Projektet har utmynnat i en djupare förståelse hos deltagande partner vilka utmaningar som införande av kryogent väte har på flygmotorn och kringliggande bränslesystem. Projektet har också utvecklat och demonstrerat teknologier för bränslesystemet. Resultat från projektet är bl.a:

- Utvecklade flygsystemmodeller för omställning till kryogent väte påvisar att grönt väte har en potential att reducera flygets miljöpåverkan avsevärt.
- Utvecklade hållbarhetsmodeller som stöd vid design och materialval.
- Utveckling, tillverkning och funktionsprovning av komponentdemonstratorer
- Demonstration av tillverkningsprocesser
- Immaterialrättsliga tillgångar (IPR) i form av patent och ”know how”

Projektresultaten skapar en bra grund att långsiktigt stärka svensk industri och akademi för deltagande i internationella forsknings-, demonstrator- och produktutvecklingsprojekt. Projektresultaten har också utmynnat i en bra förståelse för behov av fortsatt forskning och teknologiutveckling inom dessa områden för att möjliggöra svensk internationell konkurrenskraft där svenska aktörer har möjlighet att bidra till det globala flygets omställning till fossilfrihet.

Summary

Within H2JET, technologies for critical subsystems have been developed for the use of cryogenic hydrogen as fuel for future fossil-free aircrafts and aircraft engines. The project has focused on the fuel systems closest to the aircraft engine and specifically the high-pressure fuel pump, fuel pipes for cryogenic temperatures and engine-integrated heat exchanger that preheats the cryogenic hydrogen by using the excess heat in the engine's exhaust gases. In addition, comprehensive studies have been carried out for the engine and aircraft for functional requirements definition, sustainability analyses and evaluation of project results on aircraft system level. The project has been coordinated by GKN Aerospace Sweden AB and the partners have been Chalmers Tekniska Högskola, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Lunds Tekniska Högskola (LTH), Högskolan Väst (HV), Research Institutes of Sweden (RISE) and Oxeon AB.

The project has resulted in a deeper understanding among the participating partners of the challenges that the introduction of cryogenic hydrogen has on the aircraft engine and surrounding fuel system. The project has also developed and demonstrated technologies for the fuel system. Results from the project includes:

- Developed aviation system models for transition to cryogenic hydrogen demonstrates that green hydrogen has the potential to significantly reduce aviation's environmental impact.
- Developed sustainability models being used as support for design and material selections.
- Development, manufacturing and functional testing of component demonstrators
- Demonstration of manufacturing processes
- Intellectual properties in the form of patents and "know how"

The project results create a good basis for long-term strengthening of the Swedish industries and academia for participation in international research-, demonstrator- and product development projects. The project have also resulted in a good understanding of the need for future research and technology development in these areas to enable Swedish international competitiveness where Swedish actors have the opportunity to contribute to the global transition to fossil-free aviation.

Inledning/Bakgrund

För att flyget skall kunna bli fossilfritt krävs nya bränslen. Fossilfria kolvätebränslen kan användas med evolutionär utveckling av dagens jetmotorteknologi medan användning av vätgas kräver utveckling av nya delsystem för motor och flygplan. H2JET har siktat in sig på de nya motornära systemen som krävs för att möjliggöra vätgasdrift i kommersiell drift med tänkbar introduktion från 2035. Arbetet har varit inriktat på transportsegmentet från 100 till 250 passagerare och medellånga räckvidder, från ca 800 km till 4000 km, dvs. det segmentet som idag är numerärt störst och som står för ca fyrtio procent av flygets utsläpp globalt och hälften av flygets användning av fossilt bränsle i Sverige. Det gör att potentialen att minska koldioxidutsläppen vid en total övergång från flygfotogen till väte för detta segment är minst 500 miljoner ton om året globalt, vilket motsvarar 8 gånger Sveriges totala bruttoutsläpp av koldioxid.

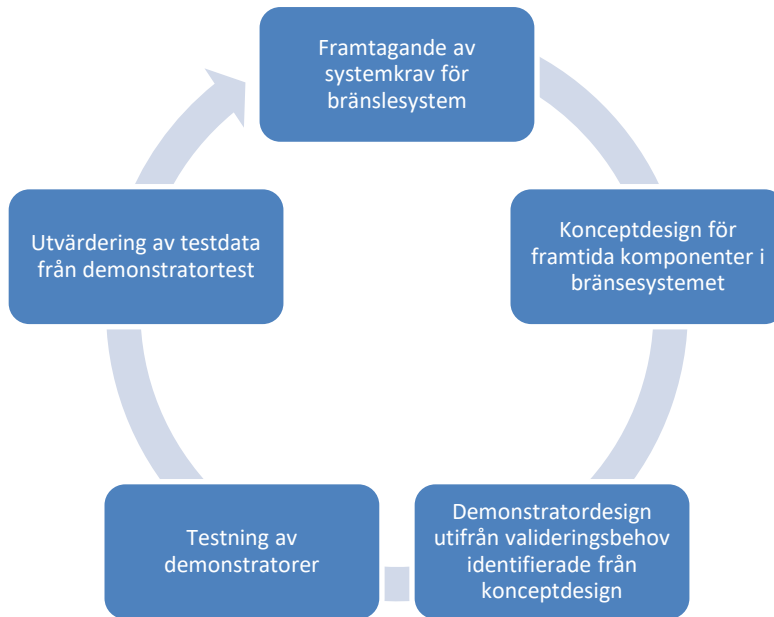
Europa tar nu ledningen i utvecklingen mot ett hållbart flyg genom planerade insatser inom forskningsprogrammet Clean Aviation (ref 1) och genom företag som tar fram konceptflygplan för vätgas (ref 2). I Clean Aviation kommer det att finnas tre huvudspår. Ett mindre som siktar på mindre el-hybrid flygplan för korta distanser, ett som helt inriktar sig på möjliggörande teknologier för användande av väte i flygplan och motorer och till sist ett som siktar på ultraeffektiva flygplan och motorer för medellånga räckvidder där man skall demonstrera koncept för radikala effektivitetsförbättringar. De storskaliga demonstrationerna i det sista spåret kommer att utnyttja gasturbiner (jetmotorer) för framdrivning och använda väte som energibärare (bränsle).

2018 startade EU-projektet ENABLEH2 (ref 3) där både Chalmers och GKN haft ledande roller med målet att identifiera och utveckla de viktigaste teknologierna för att lyckas med vätgasflyg. Projektet har visat att gasturbinbaserade motorer (turboprop eller turbofläkt) drivna med vätgas som lagras i flytande form i kryogena tankar är det mest lovande alternativet för flygplan med konkurrenskraftig flyghastighet och räckvidd. ENABLEH2 har bland annat identifierat bränslesystemet och uppvärmning av det kryogena bränslet, kombinerat med mellankylning av gasturbinmotorn som ett av de viktigaste områden där utveckling krävs.

I projektet H2JET har GKN, Oxeon, Chalmers, KTH, LTH, HV och RISE tagit fram ett antal tekniska principlösningar för de nya delsystemen som måste introduceras i flygmotorerna vid ett byte från fossilt kolvätebränsle till väte. De delsystem som blir specifika är de system som för vätet från tanken, där den är i kryogen form, till motorns förbränningsrum (brännkammare) där den eldas. För att bränslet ska kunna sprutas in i motorns trycksatta brännkammare måste trycket höjas i bränslepumpar. Vidare måste vätet förångas innan insprutningen, och med fördel värmas upp till en högre temperatur. Vätets låga temperatur när det kommer från bränsletanken innebär att stora mängder värme kan överföras från motorns varma avgaser och/eller från kompressorluften i en mellankylare. Den överförda värmen ersätter till en del förbränningsvärme och minskar därför bränsleförbrukningen, medan mellankylning dessutom medger att motorn kan designas för ett högre tryck och därmed producera mer nyttig effekt per enhet värme.

Genomförande

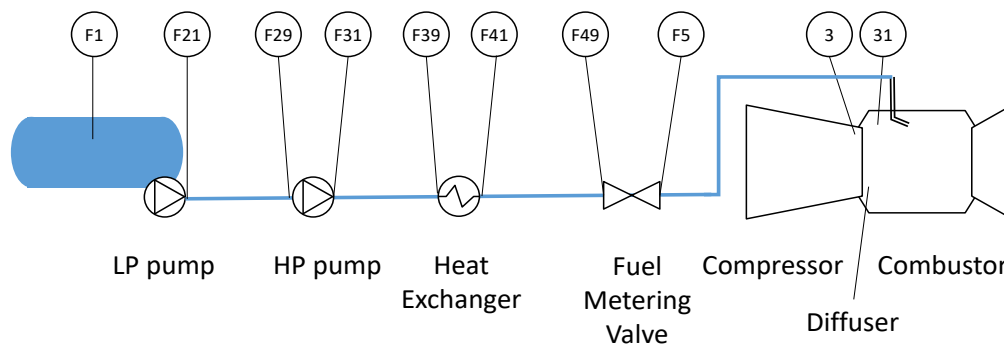
Projektet har genomförts som ett samarbete mellan GKN, Oxeon, CHALMERS, KTH, LTH, HV och RISE. Arbetet har varit uppdelat i 4st arbetspaket för systemstudier och komponentutveckling som beskrivs nedan. Övergripande designlogik illustreras i Figur 1. Flera iterationer har skett under arbetet.



Figur 1 - Designprocess i H2Jet

Motorfunktion och hållbarhet (GKN)

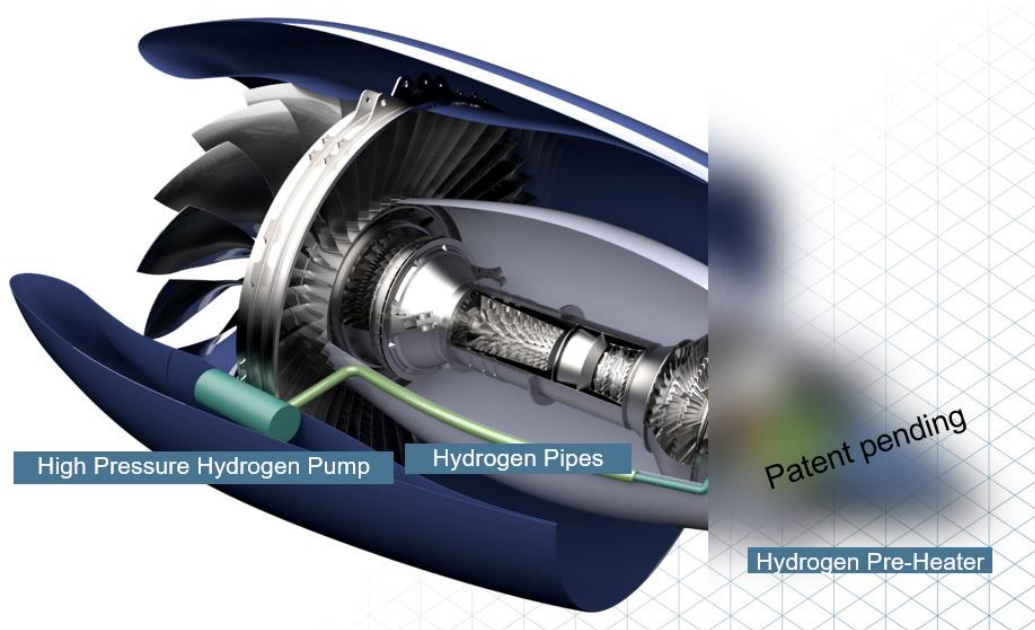
Motor och flygplan har studerats övergripande, funktionsmässigt och geometriskt för att ta fram krav för de tre delsystem som utvecklas utifrån funktion för motor och flygplan. I detta arbete har flera prestandamodeller utvecklats och förbättras för att beskriva en turbofläktmotor med vätgaseldning inklusive geometriska motordimensioner. Kravet på bränsletryck för olika stationer i bränslesystemet, se Figur 2, har beräknats från målsiffror för komponenters prestanda och tryckfall, med återkoppling från resultat från mer detaljerade komponentstudier.



Figur 2 - Schematisk beskrivning av bränslesystem till framtida väteplan med direktförbränning av väte

Dessa modeller har också använts till att ta fram geometri för en installerad motor inklusive motorkåpa (nacelle), placering av bränslepump och rördragning för kallt bränsle fram till värmeväxlaren. Olika val av positioner för förvärmning är tänkbara, detta inkluderar oljekylare, mellankylning mellan låg och högtryckskompressor, bladkylning i högtrycksturbinen, och återanvändning av energin i de varma avgaserna som kommer ut från kärnan i motorn. I en framtida

motor skulle en kombination av dessa positioner kunna användas. Huvudspåret i H2JET är återvinning av energi från de varma avgaserna vilket bedöms som nödvändigt i en motor, även om det i ett praktiskt utförande troligen skulle kombineras med andra värmekällor. Flera helmotor-bilder i CAD har också tagits fram för motorkonceptet som visar komponenterna, se Figur 3. Med hänsyn till känslighet med framtida IP-skydd kan inte mer detaljerade bilder delges i denna rapport, av samma anledning har också värmeväxlarens design maskerats.



Figur 3 - Bild av framtida motor för förbränd vätgas

Hållbarhetsanalyser har också utförts för att kvantifiera minskning av växthuspåverkande utsläpp från en framtida vätgasmotor, inkluderande koldioxid från bränsletillverkning, kväveoxider och varaktiga kondensstrimmor (contrails). Metodik för hållbarhetsanalyser, med hjälp av programmet Fingerprint Tool, har utvecklats för att guida den mer komponentspecifika utvecklingen i en mer hållbar riktning och använts i samverkan med de andra arbetspaketen.

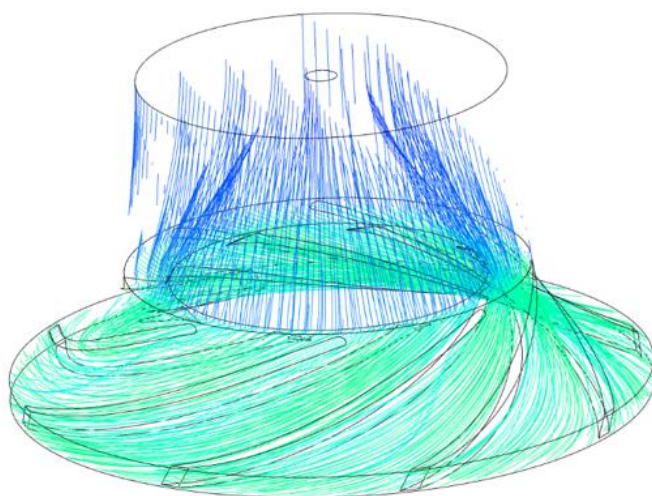
Utveckling av H₂-bränslepumpar (GKN, LTH)

Pumpar i ett framtida vätebaserad flygplan med direktförbränning och kryogena tankar antas vara uppdelade i åtminstone en pump nära tanken som har i uppgift att distribuera ut det kalla vätet, och en högtryckspump nära motorn som kan leverera tillräckligt tryck för att injicera bränslet i bränslekammaren. På så vis är det bara efter högtryckspumpen som bränslesystemet behöver designas för de höga tryck som kommer krävas, vilket begränsar delen av bränslesystemet som ställer än högre krav på dimensionering och relaterade säkerhetsaspekter.

I detta projekt har högtryckspumpen varit i huvudfokus och den antas ha elektrisk drivning. Framtida högtryckspumpar för vätgasmotorer bedöms ha mycket höga tryck och relativt låga massflöden vilket medför mycket höga varvtal och tunna strömningskanaler, dessa måste kunna arbeta vid mycket låga temperaturer med

mycket varierande operationstillstånd i övrigt. Detta ställer mycket utmanade krav på lagring, höga varvtal, tätningar, styrning, drivning och tillverkningsmetoder generellt med små dimensioner och toleranskrav. Dessa utmaningar har drivit utvecklingen för pumpen.

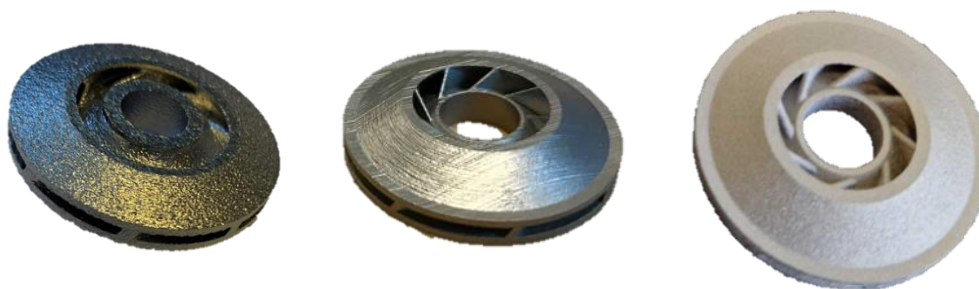
En lämplig arbetsfördelning mellan en lågtryckspump nära bränsletanken och högtryckspump nära motorn analyserades initialt, utifrån vätskets egenskaper inklusive fasomvandlingar samt förstudie av hydrodynamisk design av en lågtryckspump för att generera lämpliga inloppsvillkor för högtryckspumpen. Detta arbete har varit i samarbete med teamet för motorsystem. Ett designkoncept utvecklades sedan genom flera designiterationer ihop med Lund Tekniska Högskola. Den hydrodynamiska designen för att möjliggöra dessa iterationer initierades med 0D, till 1D, upp till 3D och till sist detaljerade CFD-studier, för vilken en typisk studie visas i Figur 4.



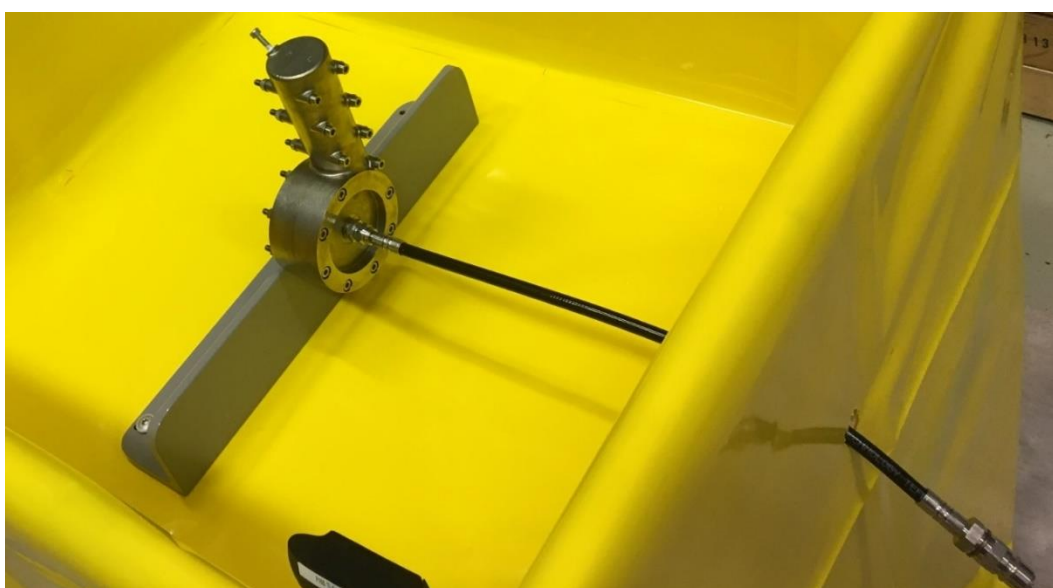
Figur 4 - CFD studie av impeller för en högtryckspump för väte

Arbetet har bedrivits multidisciplinärt genom att också hållfasthet, tillverkning, elmotordesign har analyserats vilket har möjliggjort att konceptet har kunnat anpassas till prognostiserande framtida teknikkivåer vid införande av den framtida produkten.

Med hjälp av designkonceptet och identifikation av status för teknologimognad har framtida forsknings- och valideringsaktiviteter identifierats. Redan under projektet har två olika demonstratorkampanjer för pumpen utförts för att stötta utvecklingen. Detta genom att tillverka impellrar med hjälp av tre olika additiva tillverkningstekniker för att undersöka möjligheter att tillverka impellrarna med inneslutna pumpkanaler, vilka kan ses i Figur 5. Även en demonstrator för pumphuset har tillverkats och också testats i trycksprov vid GKN, vilken kan ses i Figur 6. Trycktestet möjliggjorde att gap för designelement i produktdesignen kunde identifieras, och inkluderas i framtida valideringsaktiviteter.



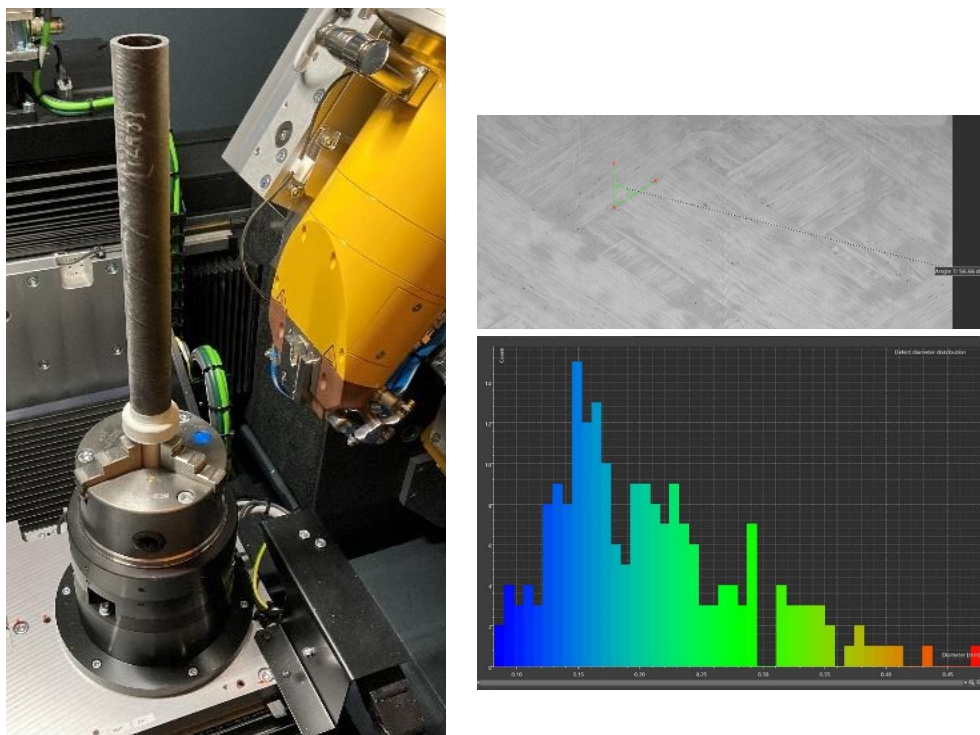
Figur 5 - Impellrar tillverkade genom additiv tillverkning



Figur 6 - Trycktest av demonstrator för pumphus

Utveckling av H₂-bränslerör i kompositmaterial (GKN, Oxeon, RISE)

Ett koncept på ett bränslerör för kryogen väte i komposit som sträcker sig mellan bränslepumpen och värmeväxlaren, inklusive interface mot omgivande komponenter, har tagits fram i projektet. Bränsleröret behöver klara av att hantera vätegenomträngning genom materialet och stora temperaturskillnader då det kommer flöda flytande väte inuti röret samtidigt som utsidan kommer utsättas för omgivande temperatur. Röret behöver också vara isolerat för att undvika isbildning på utsidan. Bränsleröret har dimensionerats strukturellt och olika tillverkningsmetoder och materialval har studerats.



Figur 7 - Utvärdering av rakt kompositrör för att demonstrera materialegenskaper

Produktkonceptet som tagits fram har också satt kravbilden för två olika tillverknings-demonstratorer då en stor del av utmaningen med kompositrören ligger i själva tillverkningsmetoden och dess höga krav på de verktyg som används. En tillverkningshårdvara med geometri av rakt rör har tagits fram i samarbete med RISE och Oxeon, vars materialegenskaper kan ses utvärderas i **Error! Reference source not found.7**. Denna geometri har också testats i övertryckstest vid GKN, se Figur 8.



Figur 8 - Trycktest av rakt kompositrör

Projektet har också utvecklat tillverkningsmetoder för tillverkning av ett geometriskt komplext krökt rör, Figur 9. Med hjälp av en ny av projektet utvecklade innovativa tillverkningsmetoder har tillverkningshårdvara tagits fram som signifikant minskat ledtid från idé till första prototyp-hårdvara.



Figur 9 – Komplex krökt kompositrör för demonstration av nya tillverkningsmetoder

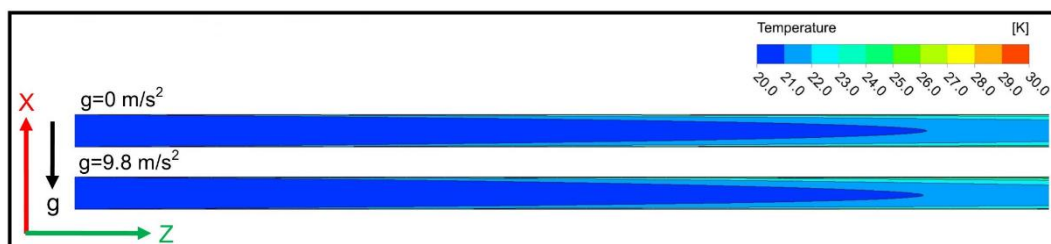
Utveckling av motorintegrerade H₂-förvärmare (GKN, Chalmers, KTH, Högskolan Väst)

En multidisciplinär arbetsgrupp har tagit fram en grundkonstruktion för en framtida funktionell motormodul för förvärmning av kryogent väte. En testhårdvara för den externa strömningen har designats och tillverkats utifrån produktdesignen. Denna är anpassad för testning i Chalmers turbinutloppsrigg där motorrealistiska förhållanden för strömningen i Reynoldstal, utloppsvinklar och turbulensnivåer uppnås – dock ej i temperatur. Experimentriggen och installerad hårdvara för värmeväxlaren kan ses i Figur 10. Innan testning kunde påbörjas har mätsystemet anpassats till att användas i kombination med en värmeväxlare. Under testning har inloppsströmningens egenskaper varierats för att matcha olika operationstillstånd som uppkommer under flygmotorns flyguppdrag. Prestanda för uppströms komponenter har jämförts utan och med värmeväxlaren installerad. Även värmeväxlarens effektivitet har utvärderats för demonstratorn med hjälp av en krets som tillåter vatten att flöda runt med högre temperaturer i värmeväxlaren än omgivningstemperaturen och mätning av hur vattentemperaturen ändras i värmeväxlaren.



Figur 10 – Värmeväxlardemonstrator monterad i Chalmers turbinrigg för testning av extern aerodynamik för väteförvärmare

KTH har studerat värmeöverföringen av superkritiskt väte. Utifrån en litteraturstudie har de byggt tillämpliga värmeöverföringsmodeller för både 1D samt 3D, vilket kan ses ett exempel för i Figur 111. KTH har också undersökt hur en framtida rigg för värmeöverföring av kryogen/superkritisk fluid kan utformas. Detta har inkluderat en initial litteraturstudie med identifikation av möjliga leverantörer och lagkrav samt en efterföljande konceptdesignfas.

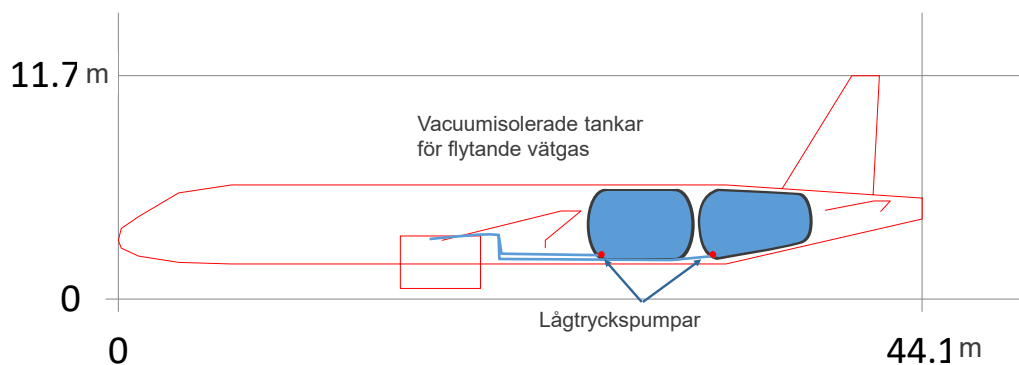


Figur 11 - Analysfall för den interna temperaturdistributionen i en värmeväxlare med kryogent väte

Högskolan Väst har genomfört en litteraturstudie av väteförsprödning för lämpliga materialval till en väteförvärmare med fokus både på effekten på Nickel-baserade superlegeringar, austenitiska rostfria stål samt olika typer av beläggningar. Detta har inkluderat mekanismer för väteförsprödning, komposition och mikrostruktur för material, motståndskraft att stoppa vätegenomträngning i materialet och hur väte löser sig i metallen. Även olika värmebehandlings har studerats med anseende hur de kan påverka väteförsprödning. För att avhjälpa väteförsprödning har också möjliga beläggningar för att motverka vätegenomträngning identifierats och hur de kan appliceras har utvärderats.

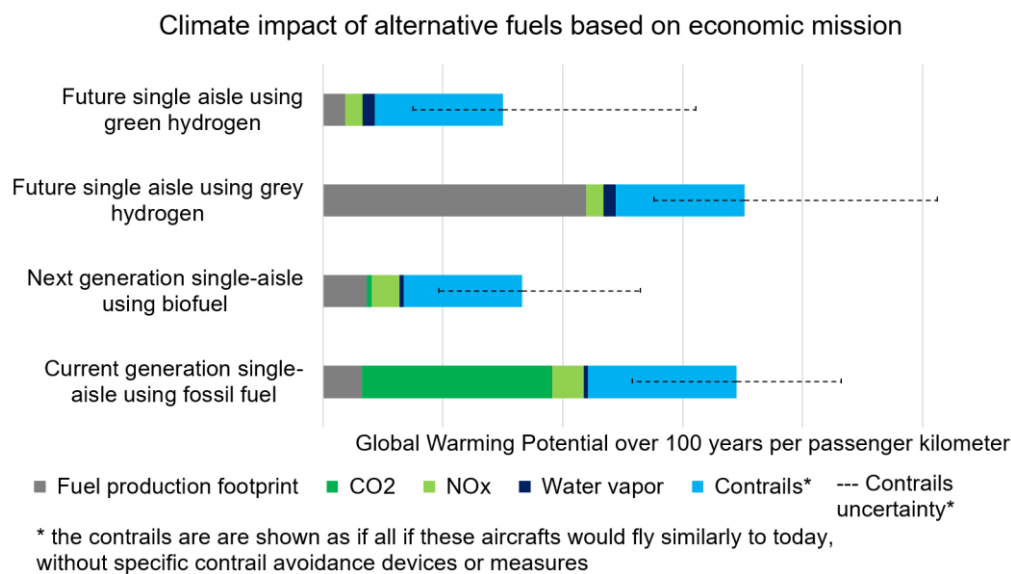
Sammanfattning av Resultat

Ett framtida flygplan med jetmotorer med direktförbränning av väte bedöms enligt Airbus kunna utvecklas redan år 2035. H2JET ser en möjlighet för en större introduktion av dessa till 2040. Ett kort/medeldistansflygplan (sk. single aisle) för 160 passagerare med introduktion 2040 har visat sig motsvara marknadens behov. Eftersom väte, även i kryogent tillstånd, kräver stor volym för att lagras beräknas planen bli väsentligt större, detta illustreras i Figur 12. Tankarnas placering integreras i flygplanskroppen bakom passagerarkabinen.



Figur 12 - Flygplan drivet av vätgaseldade jetmotorer för 160 passagerare.

Jämfört med dagens motorer bedöms dessa framtida vätemotorer kunna leda till en reduktion av växthusgaser med 56% per passagerare och kilometer vid användning av grönt väte utan ursprung från fossila bränslen, varav kondensstrimmor är den stora återstående bidragsfaktorn. Ytterligare reduktion kan fås genom miljöanpassade flygrutter. Dessa resultat finns beskrivna i Figur 13.

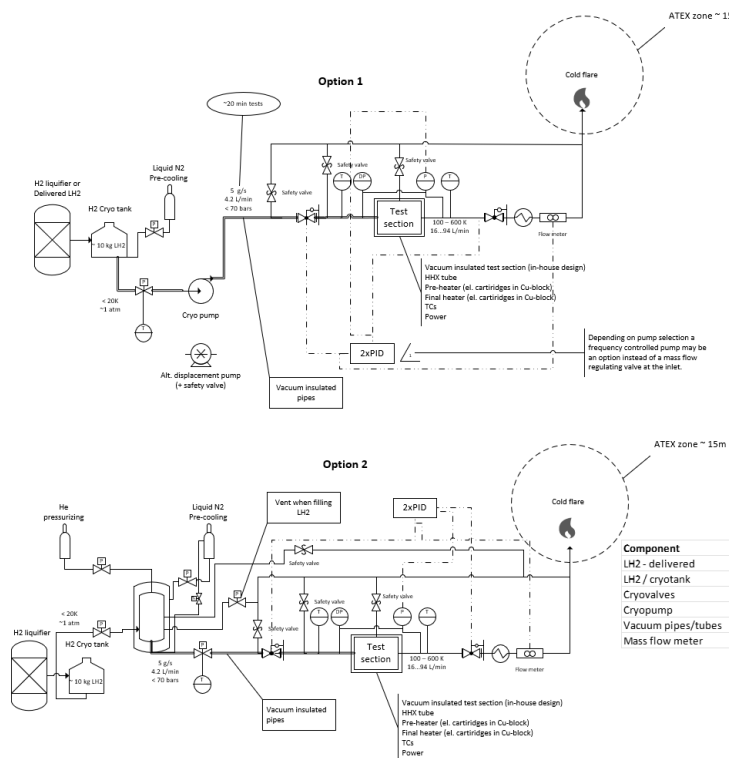


Figur 13 - Utsläpp för framtida motorer med alternativa bränslen jämfört med en konventionell motor idag

Arbetet i H2JET har lett till flera innovationer för de inkluderade delsystemen. För designen och integration av motorintegrerade värmeväxlare har GKN lämnat in en patentansökan. Teamet för pumputvecklingen har under arbetet beskrivit fem innovationer för bränslepumpar med integrerad drivning som vidareutvecklats efter att H2JET projektet avslutats med förhoppning om ytterligare patentansökningar. Även för bränsleröret med en dubbelväggig design med vakuumisolering mellan väggarna för att undvika nedisning, har möjliga innovationer studerats vilka nu utreds för vidare utveckling.

Gällande teknologimognaden (TRL, Technology Readiness Level) för de olika delarna som har följande bedömning gjorts:

Den utförda aerodynamiska testningen av värmeväxlaren som har genomförts hos Chalmers bedöms vara på TRL3. Påverkan på material och dess egenskaper i vätemiljö bedöms vara på TRL3-4 för materialteknik och TRL2-3 för beläggningar att motverka vätepåverkan ytterligare. KTH har undersökt den interna strömningen av superkritisk kryogent väte och ser att det finns osäkerhet i tillgänglig valideringsdata, vilket skapar ett behov av framtida testning. KTH har också utvecklat två koncept för experimentella uppställningar ämnade att utföra värmeöverföringstest av en superkritisk fluid vilka kan realiseras i framtida samarbetsprojekt, dessa finns beskrivna i Figur 14.



Figur 14 - Två olika riggkoncept för att möjliggöra testning av kryogen / superkritisk fluid

Högtrycksbränslepumpen inklusive drivning och termisk isolering, dvs hela pump-modulen, bedöms som helhet vara på TRL2. Det är ett ytterst komplicerat delsystem med stort teknologi-innehåll, och den relativt låga TRL-nivån motiveras med begränsad verifiering och erfarenhet för någon del i etablerade koncept. Det är naturligt för en ny produkt, och exempel på komponenter med låg mognadsgrad i detta delsystem är kryogena ventiler, el-motor som driver pumpen och termisk isolering. Det finns även delar av pump-modulen som har TRL3 eller högre, till exempel hydrodynamisk och mekanisk design av pump-enheten. Av dessa har hydrodynamisk design haft speciellt fokus i detta projekt som tidigare nämnts. Att förstå pumpens funktion med avseende på till exempel rotationshastighet, effekt, styrning etc. är grundläggande för fortsatt forskning och teknologiutveckling där nästa steg är TRL3 för högtrycksbränslepumpen.

För bränsleröret är de största utmaningarna vätegenomträngning genom materialet samt isoleringen mellan det inre och det yttre röret, oavsett om det är vakuum eller annat isolerande material. Konceptlösningar för detta inklusive materialegenskap och tillverkningsprocess bedöms ligga på TRL2. Fortsatt behov av utveckling i form av produktkoncept, materialegenskaper och tillverkningsprocesser till TRL3 har identifierats. Denna utveckling utförs företrädesvis genom fortsatt samverkan mellan industri och akademi och de ingående teknologierna behöver utvecklas parallellt då de har en stark påverkan på varandra.

Diskussion

Projektet har lagt en grund med nyutvecklade innovativa designkoncept för ett framtida vätebaserat globalt flyg med svenskt bidrag till omställningen. Användande av grönt väte bedöms kunna reducera flygets miljöpåverkan med mer än 50% för ett kort/medeldistans-flygplan (100-250 passagerare) som idag står för 40% av de samlade utsläppen från det globala flygandet. Denna bedömning är tagen som ett medelvärde av olika metoder för att beräkna påverkan på klimatet från varaktiga kondensstrimmor om flygningarna sker på samma sätt som idag. Ytterligare minskningar kan nås genom förändrad flyghöjd och flygrutt till där inte varaktiga kondensstrimmor kan bildas, eller genom teknisk utveckling av motorerna. Mer forskning och mognande av teknologier kommer att behövas för att förstå och minska klimatpåverkan från kondensstrimmor. Redan resultaten från H2JET har visat att det finns goda utsikter att markant reducera flygets bidrag till den globala uppvärmningen.

H2JET har visat att det finns omfattande framtida utmaningar för att introducera ett bränslesystem för kryogent väte i flygindustrin. För pumpen, är det speciellt de höga varvtalen och låga temperaturerna samt höga krav på driftsäkerhet vilket påverkar serviceintervall och kräver att pumpsystemet är uppbyggd med redundant funktion. För att uppfylla kraven behöver vi adressera detta ser vi att ett omfattande arbete kring pumpsystemkoncept som ger önskad variabilitet för att tillfredsställa varierande operationspunkter, samt utveckling mot livstids- och säkerhetskrav för integrerad drivning och lagring för vilka det idag inte finns några beprövade lösningar. För rören är utmaningen kompakta, täta

och säkra rör som kan hantera mycket hårda läckagekrav för att upprätthålla den nödvändiga vakuumisoleringen och säkerhetskrav i övrigt, allt detta mellan fästpunkter i motorn som rör på sig från manöverlaster och termiskt expansion. Till sist, de framtida de motorintegrerade värmeväxlarna kommer behöva omfattande utveckling för att demonstrera en säker design som är inspekterbar, som också kan hantera stora temperaturförändringar, vilket kräver en struktur som inte är för styv, och samtidigt vara stabilt nog för att hantera alla externa laster och manöverlaster på strukturen.

Att hitta lösningar för att transformera flygandet för att använda väte är utmanande och kommer att kräva stora insatser. Det är därför viktigt med kontinuitet i utvecklingen och att arbetet kan växlas upp ytterligare framöver. Samtidigt, på grund av de utmaningarna framåt ser vi också stora möjligheter att därmed formulera koncept som kan ge konkurrensfördelar för framtida produkter.

Inom projektet har vi fastställt vilken teknologinivå vi är på och utmaningar som finns kvar för de komponenter som ingår i studien. Utifrån detta har nödvändiga valideringsaktiviteter identifierats. Planen för utvecklingen granskas för närvarande av en grupp tekniska experter och kommer vara till grund till ansökningar för fortsatta forskningsprojekt.

Publikationslista

Robert Lundberg, "Hydrogen aircraft propulsion", Invited presentation at HFC Nordic, Copenhagen, 8-9 Nov, 2022: <http://hfcnordic.dk/>

Robert Lundberg, "Vätgasframdrivning", Frukostseminarium (web), "Nu flyger vätgas" Vätgas Sverige, 26/10-2022

Presentation på Energimyndighetens webinarium om fossilfritt flyg 2045. 2023-01-13, bilaga 1.

Presentation på GKN's IGE-day (Introduce a Girl to Engineering), 2022-03-25

Pressrelease GKN Aerospace hemsida: [GKN Aerospace leads new Swedish National project on hydrogen propulsion](#)

Artikel i FlightGlobal 2021-06-14: [GKN spearheads Swedish hydrogen-combustion engine project | News | Flight Global](#)

Artikel i Aviation Today 2022-05-25: [GKN Aerospace, easyJet Partner to Promote Decarbonization, Advance Hydrogen Technology - Avionics International \(aviationtoday.com\)](#)

Referenser, källor

Ref 1: Clean Aviation SRIA: clean-aviation.eu/

Ref 2: Airbus zero emission: <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe>

Ref 3: The EnableH2 project: www.enableh2.eu/

Bilagor

Bilaga 1: GKN presentation på Energimyndighetens webinarium om fossilfritt flyg 2045. 2023-01-13

Teknologiutveckling mot hållbart flyg - Fossilfritt flyg 2045

 - Webinarium Fossilfritt flyg 2045



Oskar Thulin, Projektledare
Oskar.Thulin@GKNAerospace.com



GKN AEROSPACE

The information in this presentation is proprietary and confidential and shall not be disclosed to or used by a third party unless specifically authorized by the relevant GKN Aerospace company.

Export Control
 This document contains technical data not subject to Council Regulation (EC) No 2021/821 and its amendments.
 Export Classification: Not Subject to Regulations (NSR)



Teknologiutveckling mot hållbart flyg - Fossfritt flyg 2045

Proprietary and confidential/restrictions on this slide apply throughout this presentation





- Development of critical subsystems for gas turbine-based hydrogen propulsion for medium-range civil aircraft
- 18 Months project ended 2022
- Budget 23.9MSEK
- 10 identified innovations, 1 patent application
- Partners GKN Aerospace, Chalmers, KTH, LTH, Oxeon, RISE, University West

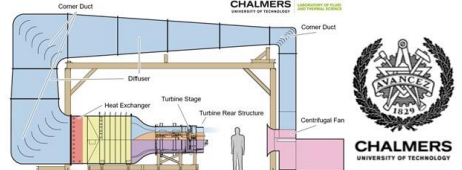



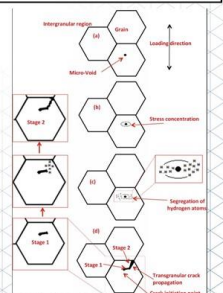
111001 Rev. 0

Teknologiutveckling mot hållbart flyg - Fossfritt flyg 2045

Proprietary and confidential/restrictions on this slide apply throughout this presentation



Engine integrated H2 Pre-heater








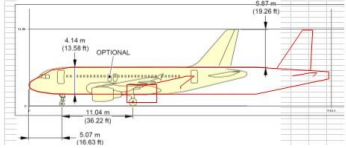
111001 Rev. 0

Teknologiutveckling mot hållbart flyg - Fossfritt flyg 2045

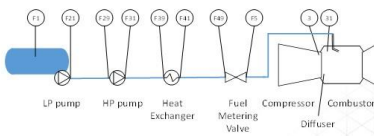
Proprietary and confidential restrictions on this slide apply throughout this presentation

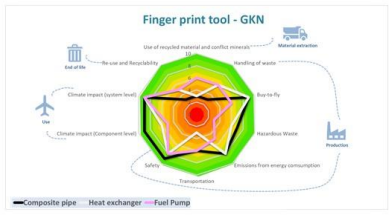
Engine Function and Sustainability



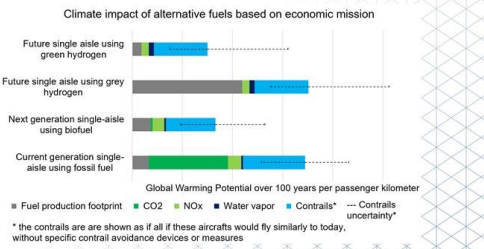


H2Jet plane overlaid on Airbus A319





Finger print tool - GKN



Climate impact of alternative fuels based on economic mission

Global Warming Potential over 100 years per passenger kilometer

Legend: Fuel production footprint (dark blue), CO2 (light blue), NOx (green), Water vapor (yellow), Contrails* (red), Contrails uncertainty* (dashed red)

* the contrails are shown as if all if these aircrafts would fly similarly to today, without specific contrail avoidance devices or measures

Teknologiutveckling mot hållbart flyg - Fossfritt flyg 2045

Proprietary and confidential restrictions on this slide apply throughout this presentation

H2 Fuel Pump













Teknologiutveckling mot hållbart flyg - Fossfritt flyg 2045

Proprietary and confidential restrictions on this slide apply throughout this presentation

H2 Fuel Pipes in Composite

