

SAAB-MINNEN

Del 31

Februari 2021

Särtryck

Flygforskning och teknikutveckling i Sverige

En exposé över åtta decennier av svensk kreativitet och innovation

Billy Fredriksson och Anders Gustafsson



A few accomplishments in the past



- First swept-wing fighter in Europe
– **J29 Flying Barrel** (1948)
- First Saab supersonic aircraft
– **J32 Lance** (1952)
- First double-delta-wing aircraft
– **J35 Dragon** (1955)
- First canard-wing fighter
– **AJ37 Thunderbolt** (1967)
- First JAA/FAA jointly certified airliner
– **Saab 340** (1984)
- First fourth generation fighter
– **JAS39 Gripen** (1988)



FLYGFORSKNING OCH TEKNIKUTVECKLING I SVERIGE

En exposé över åtta decennier av
svensk kreativitet och innovation

Av Billy Fredriksson och
Anders Gustafsson

Anders



Billy

Inledning och lite bakgrundsbeskrivning

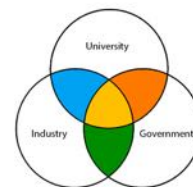
Från 2:a världskriget och framåt under kalla krigets period fanns en tydlig politisk insikt och vilja att bygga ett starkt svenskt försvar baserat på en stor andel inhemsk utveckling och produktion. För flyget innebar det starten på en omfattande inhemsk utveckling och produktion av flygplan. Det blev början på en stark teknikutveckling och forskning baserat på omfattande samarbete mellan Staten via Försvarets Materielverk (FMV), industrin via främst Saab och Volvo Flygmotor (nuvarande GKN Aerospace Sweden) och forskningsinstitut, främst Flygtekniska Försöksanstalten (FFA) samt universitet och högskolor. Utvecklingen skedde i nära samverkan mellan aktörerna och har åstadkommit många svenska "aeronautical firsts", några exempel i figuren.

Samverkansmodellen mellan staten, industrin och akademien har från 90-talet och framåt kommit att kallas för Triple Helix modellen.

A few accomplishments in the past



- First swept-wing fighter in Europe – **J29 Flying Barrel** (1948)
- First Saab supersonic aircraft – **J32 Lance** (1952)
- First double-delta-wing aircraft – **J35 Dragon** (1955)
- First canard-wing fighter – **AJ37 Thunderbolt** (1967)
- First JAA/FAA jointly certified airliner – **Saab 340** (1984)
- First fourth generation fighter – **JAS39 Gripen** (1988)



Triple Helix modellen

Redan från början insåg man vikten av internationellt samarbete och kunskapsinhämtning genom omvärlds-bevakning och detta har också varit en viktig del av den svenska flygtekniska forskningen. Man kan nog säga att under de första årtiondena var de tre cirkelarna i Triple Helix modellen nästan helt överlappande. Det var inte så mycket tal om olika forskningsprogram och byråkratin var minimal. FMV deltog i utvecklingsarbetet och betalade för både provning och utveckling! Med tiden blev cirkelarna lite mer separerade.

Det flygtekniska området är stort och teknologiskt mycket brett och omfattande. Vi kommer därför naturligen inte på något sätt att vara heltäckande. Vi ger exempel på teknikinnehåll samt FoT-program och samarbeten, liksom teknikspridning, som vi hoppas ska vara belysande och representativa för svensk flygteknisk forskning genom åren. Många av teknikområdena har också beskrivits i tidigare uppsatser i Saab-minnen och vi ger ofta referenser till relevant uppsats.

På övergripande nivå fokuserar vi på forskning och teknikutveckling för flygplan och flygssystem, alltså främst de områden som varit viktiga för Saab. Volvo Flygmotor, nuvarande GKN Aerospace Sweden, har på samma sätt haft forskning och teknikutveckling inom flygmotorområdet. Saab och GKN har genom alla år haft ett mycket nära samarbete och när det gäller de exempel vi tar upp vad gäller forskningens genomförandeformer har det i de allra flesta fall varit lika varandra. Det är teknikinnehållen som har skiljt sig åt.

Saab och GKN har gemensamt tillsammans med forskningsorganisationerna och försvarets materielverk arbetat för att främja den flygtekniska utvecklingen genom att ta fram långsiktiga planer, strategier och förslag till finansieringsformer. Vi har främst av utrymmesskäl valt att fokusera på områden relaterade till utveckling av flygplan och har färre exempel relaterade till tillverkning och produktionsteknik.

Många flygtekniska områden har både militär och civil användning, "dual use". Många av de forskningsprogram som vi ger exempel på har därför teknikinnehåll som gäller både militära och civila flygplan. Flyget har varit och är inom många teknikområden den ledande branschen. Många av de innovationer som tagits fram inom flyget har fått tillämpningar inom andra branscher, "triple use". För exempel se Saab-minnen del 30/6. Under senare decennier har andra branscher blivit ledande inom teknologier som blivit viktiga inom flygsystemen, som t.ex. elektronik och datorer, sensorer, autonomi och artificiell intelligens. Flygindustrin deltar idag därför också i många forskningsprogram som traditionellt inte varit flygteknik.

Vi ska i denna uppsats försöka beskriva hur den svenska flygtekniska forskningen och kompetensanskaffningen utvecklats. Ambitionen är inte att beskriva teknologier som sådana utan mera hur man genom åren har anskaffat den nya teknik och kompetens som krävts för att utveckla flygplanen, vilka aktörerna varit och hur forskningen har finansierats. Områdena som vi exemplifierar med är både rena teknikområden såsom t.ex. nya material, men också metoder, verktyg och processer för utveckling av flygplan. Det har alltid varit de kommande flygplansprojekten som varit drivande i vilka nya teknologier och kompetenser som behövts och som varit

fokus för forskningen. För varje decennieavsnitt tar vi därför upp viktiga flygplansprojekt och ger exempel på nya teknologier som krävts och hur de anskaffats och på så sätt påverkat den svenska forskningsstrukturen och dess innehåll. Genom åren har planeringen för nya teknologier och kompetenser förändrats till att bli alltmer långsiktig. De nationella och geopolitiska förändringarna har varit stora. Forskningen har blivit allt mer internationell och vi kommer att belysa detta med konkreta exempel¹.

1940, -50, och -60-tal i sammanfattning ***Decennier av kreativitet, innovationer och omfattande teknisk utveckling. Sverige blir en framstående flygnation***

Under 1930-talet skedde en omfattande konsolidering av svensk flygindustri och Svenska Aeroplanaktiebolaget, Saab, kunde bildas 1937. Under de första åren lades en solid grund för förmågan att kunna konstruera och bygga flygplan i industriell skala. 1939 anställdes den legendariske flygplankonstruktören A J Andersson på Saab, tidigare chefskonstruktör på Bücker i Tyskland där han skaffat en gedigen kunskap som ansvarig för konstruktion av flera nya flygplan. Han svarade för konstruktionen av Saab 17 (hade börjat utvecklas på ASJA redan tidigare) som flög 1940, Saab 18 som flög 1942 och Saab Safir som flög 1945. Parallellt utvecklades det okonventionella flygplanet Saab J 21 med Frid Wänström som projektledare, vilket gjorde första flygningen 1943. Den skjutande propellern drev fram utvecklingen av den första katapultstolen. J 21 konverterades till Saab J 21R med jetmotor som flög 1947. J 21, med sina två stjärtbommar, kallades skämtsamt för "Saabs fullträff med två bommar".

En kompetent och solid innovativ flygindustri med förmåga att utveckla och producera flygplan hade etablerats. Under decennierna som följde efter krigsslutet skedde en kraftig utveckling av den svenska flygtekniken med flera nya flygplanstyper under varje decennium:

1. Vi skriver genomgående FMV (Försvarets Materielverk) men myndigheten har under tidigare decennier haft olika benämningar som Kungliga Flygförvaltningen (KFF) eller enbart Flygförvaltningen (FF). FMV bildades 1968. Vi skriver genomgående "Saab" om flygverksamheten även om den genom åren ingått i olika organisationer, t.ex. Flygdivisionen inom Saab Scania.

Saab 29 Tunnan (1948), 32 Lansen (1952), 35 Draken (1955), SK 60/105 (1963), 37 Viggen (1967). Saab utvecklade också under 40-talet civilflygplanet Scandia som flög 1946. Militärflyg kom att prioriteras och tillverkningen av Scandia flyttades till Fokker och den upphörde 1954. Under dessa tre decennier genomförde Saab också ett stort antal projektstudier av både militära och civila flygplan som aldrig blev verklighet. I uppsatserna "Flygplan som aldrig lyfte", Saab-minnen 19/6 och Saab-minnen 20/1, ger Hans Kampf och Stig Nilsson en bra sammanfattning av 20-talet projektstudier fram till 70-talet. Här kan också nämnas J 22, konstruerat av Bo Lundberg, och tillverkat på Flygförvaltningens Flygverkstad i Stockholm (FFVS). Första flygning 1942. Planet tillverkades i en jakt- och en spaningsversion och var i tjänst 1943-1952.

Denna makalösa utveckling inom industrin skedde i nära samverkan med den utbildnings- och forskningsverksamhet som byggdes ut till en världsledande nivå under samma tidsperiod. Samarbetet mellan Saab, FFA och KTH med stort deltagande och finansiering av FMV utvecklades starkt. Utvecklingen av Tunnan, Lansen och Draken var teknikdrivande och under denna period verkar finansiering av utveckling och forskning aldrig ha varit något problem.

Utbildning och forskningssamverkan under de tidiga decennierna

Flygteknisk utbildning

På KTH fanns flygteknisk utbildning som enstaka kurser redan på 1920-talet. Ivar Malmer, som disputerat i fysik i Lund 1915 och därefter arbetade vid Thulinverken i Landskrona fram till 1926, var docent och speciallärare på KTH under 1920-talet. Malmer blev 1928 den förste innehavaren av en professur i flygteknik i Sverige. Vindtunneln L1 på KTH, som många generationer flygtekniker kommit i kontakt med, blev klar 1932. Först under 1940-talet inrättades en flygteknisk utbildningslinje på KTH med 20 elever per år vilket utökades till 45 per år under 1960-talet.

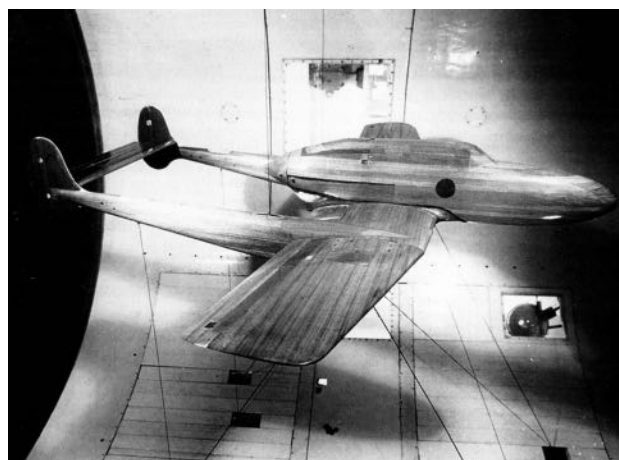
Utbildning inom flygteknik bedrevs även på Tekniska gymnasiet i Norrköping, där det fanns en flygteknisk linje under ett par decennier. Många gymnasieingenjörer som rekryterades till Saab vidareutbildades genom Saabs interna Högre Flygtekniska Kurser (HFK) som pågick under minst ett par decennier, från 1952 till slutet av 60-talet (Saab-minnen 12/3, Fagerstedt).

Andra viktiga områden där Saab under alla år har haft interutbildningar är inom Saabs Yrkesskola/Industriskola och utbildning i produktionsteknik, till flygmontörer, bänk- och maskinarbeten, sammanbyggnad mm. Se Saab-minnen 7/8 av Sven Widengren och Veteranklubben Saabs projekt om skolan på weblänk 1. Yrkeshögskoleutbildning inom flygteknik ges idag på många orter i landet.

FFA startar 1940

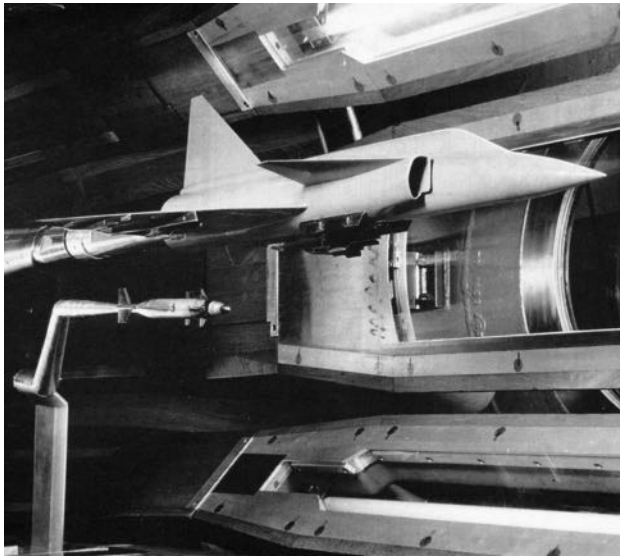
Initiativet till skapandet av Flygtekniska Försöksanstalten (FFA) togs 1936 av IVAs flygtekniska kommitté. Regeringen tillsatte en utredning med prof. Ivar Malmer som utredningsman, vilket 1937 resulterade i "Betänkande och förslag rörande inrättandet av en vetenskaplig försöksanstalt för flygindustrins behov". Det blev en proposition 1938 och FFA invigdes 1940 med Ivar Malmer som dess förste chef. Erik Petersohn blev chef för aerodynamiska avdelningen och Sten Luthander chef för hållfasthetsavdelningen.

När FFA invigdes 1940 var låghastighetsvindtunneln LT1 klar ($\varnothing=3,6$ m). Saab J 21 (bilden) var bland de första modeller som provades i LT1.

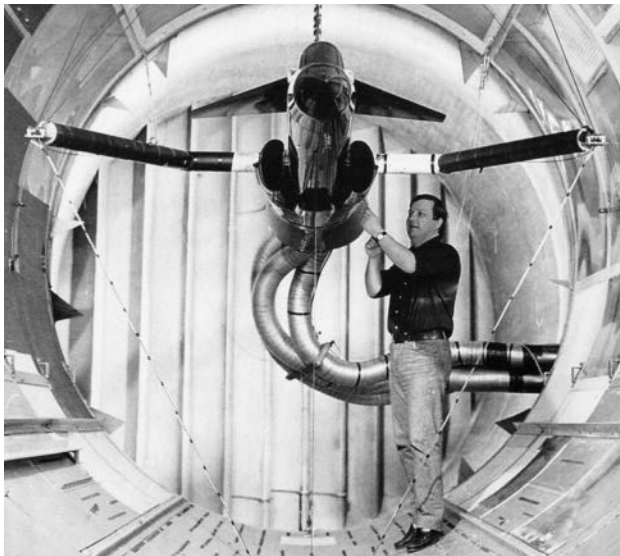


Under de följande decennierna byggdes flera nya vindtunnlar:

- Transsoniska höghastighetstunneln HT ($0,9 \times 0,9$ m²; $M < 1,3$) klar 1944.
- Överljudsvindtunnlar S4 (1×1 m²; $0,5 < M < 2,0$) och S5 ($0,5 \times 0,5$ m²; $0,5 < M < 3,6$) på 50-talet.
- Trisonisk tunnel TVM ($0,5 \times 0,5$ m²; $0,5 < M < 4,0$) på 60-talet.
- Hypersonisk tunnel ($\varnothing = 0,5$ m) på 60-talet
- T1500 (trycksatt transsonisk tunnel) tillkommer på 1980-talet (mera i senare avsnitt).



Höghastighetstunneln HT med flygplan 37 och Rb 04.



Rigg för luftintagsprov i vindtunnel LT1. Lars-Inge Nilsson förbereder.

I vindtunnlarna på FFA utprovades Saabs olika flygplanstyper och robotprojekt under flera decennier. Dessutom genomfördes många undersökningar av utvecklingskaraktär i samband med olika förprojekt.

Hållfasthetsavdelningen på FFA arbetade inledningsvis med belastningsprov av hela flygplansskrov (B 17, B 18, J 21, J 22 och Caproni (B 16) samt skalkonstruktioner och utmattningsundersökningar. I början av 1941 flyttade konstruktionskontoret för J 22 med chefskonstruktören Bo Lundberg (33 år) in i byggnaden. Lundberg blev chef för hållfasthets-avdelningen 1944 och blev från 1948 till 1967 chef för FFA. Lundberg var internationellt aktiv och 1955 presenterade han på Royal Aeronautical Society i

London en översikt "Aeronautical Research in Sweden" (referens 1, B Lundberg). Under hans tid satsades brett på utmattning och området materialutmattning och strukturlivslängd var under flera decennier ett fokus för avdelningen. Lundberg inbjöds 1954 till USA att hålla 18:th Wright Brothers Lecture med rubriken "Fatigue Life of Airplane Structures" (referens 2, B Lundberg).

En intressant person som var knuten till FFA under senare hälften av 1950-talet, var prof. Waloddi Weibull känd för sin "Weibullfördelning" använd för statistisk utmattningsanalys mm. Efter pensioneringen från KTH 1953 gjorde han en ny karriär först i Sverige och senare i USA, där han var gästprofessor vid Columbia University. I Lundbergs artikel (referens 1) finns flera referenser till FFA- och Saab-rapporter från denna tid med Weibull som författare. Vid en internationell konferens "Fatigue in Aircraft Structures" i USA 1956 höll Lundberg, Weibull och Fred Turner från Saab inbjudna föredrag. Weibulls bok "Fatigue Testing and Analysis of Results" kom ut 1961.

Sten Luthander blir professor på KTH och skapar Flygtekniska Laboriet (KTH/FL)

Malmer lämnade professuren på KTH 1942 för att helt ägna sig åt FFA, där han blir chef från starten 1940. Efter en kamp mellan Sten Luthander och Bo Lundberg blev Luthander nästa professor i flygteknik på KTH 1944. Senare tillkom två ytterligare professorer: Torkild Rand blev professor i Flygplansstatik och flygplansbyggnad 1949 och Sune Berndt professor i gasdynamik 1959. Hållfasthetsinstitutionen på KTH blev också en viktig samarbetspartner och rekryteringsbas för FFA och Saab.

Luthander var en mycket driftig person och skapade inom KTH-systemet Flygtekniska Laboriet (KTH/FL) som bedrev forskning och uppdragsverksamhet. Under åren 1947-49 var han tjänstledig för att vara chef för Saabs forskningsavdelning. Hans vikarie på flygteknikprofessuren under dessa år var en ung civilingenjör Tore Gullstrand, som långt senare (1969) blev chef för flygdivisionen inom Saab-Scania. Under åren på Saab var Luthander fortfarande pådrivande också för verksamheten på KTH. I referens 3, *Uppsatser tillägnade Luthander på 50-årsdagen*, sägs att ett långt arbetsskift på KTH pågick från fredag kväll 22:00 tills det tidiga morgontaget

avgick mot Linköping måndag morgon 05:00. Flygöverdirektören B. M. Westergård skriver i referens 3: *"Idéerna vid institutionen porlade emellertid inte fram som komma från en källåder. De sprutade fram som från ett vattenledningsrör, översvämde alla och envar och ryckte med sig de yngre ingenjörerna. Dessa ville forska, utöka sina kunskaper och skapa en större svensk forskningsinstitution"*.

Omvärldsbevakning och "import" av tyskar

En viktig del i teknikutveckling och forskning är omvärldsbevakning. Redan före andra världskriget fanns många kontakter med tysk flygforskning. A J Andersson, som designade Saab Safir, hade under 1920-talet arbetat vid två olika flygföretag i Tyskland och under 1930-talet på Bücker i Berlin. Erik Petersohn, som blev avdelningschef för aerodynamik på FFA, hade arbetat hos Prandtl i Göttingen på 1920-talet och fått många kontakter. Det är mycket sannolikt att både Andersson och Petersohn bibehöll många av sina kontakter i Tyskland.

Runt 1949-50 gjorde Sten Luthander en rekryteringsresa till Tyskland och fick av Prandtl tips på bra personer att rekrytera. Somliga fanns i England och några i Tyskland. Några hamnade på Saab (Helmut Wittmeyer - aeroelasticitet, Herman Behrbom - aerodynamiska beräkningar), några på FFA (Josef Käufl - experimentell aerodynamik, Willi Jacobs - "teoretiker") och flera på KTH där det som mest var sex tyskar samtidigt. De mest kända är Klaus Oswatitsch (gasdynamik och överljudsströmning) och Horst Merbt (aeroelasticitet). Andra namn är Herbert Schuh, Friedrich Keune, Siegfried Erdmann och Siegfried Reish. (Flera av dessa finns omnämnda i Kenneth Nilssons uppsats i Saab-minnen del 15/3).

Kreativ forskningsmiljö på 1950-talet

En mycket kreativ miljö skapades i samspelet mellan KTH, FFA och Saab. De som var med på 50-talet har berättat lyriskt om denna tid. Som mest var 50-70 personer anställda på KTH/FL på 50-talet. Flera som arbetade på FFA avlade lic eller doktorsexamen på KTH. På 1960-talet byggdes på KTH/FL vindtunneln L2 och forskningssimulatorens FOSIM för människa-maskin studier. FMV:s effektiva och smidiga finansiering var en förutsättning för såväl forskningsverksamheten som för svensk flygplanutveckling.

Ett exempel som kan illustrera nivån på forskningen vid denna tid är Mårten Landahls bok "Unsteady Transonic Flow" utgiven första gången 1961 och baserad på hans arbete på FFA och doktorsavhandling på KTH 1959. Boken kom i nyutgåva 1989 i serien Cambridge Science Classics, referens 4, och finns fortfarande att köpa. Mårten Landahl var senare professor på MIT 1963-1992 och på KTH mekanik 1967-88. (När nyutgåvan kom ut 1989 skrev medförfattaren AG en notis om detta i FFA-tidningen med tilläggsfrågan "vem gör idag det som om 30 år ges ut i serien Cambridge Science Classics?").

Många civilingenjörer från KTH arbetade först något år på KTH/FL eller FFA innan de flyttade till Saab i Linköping, vilket skapade goda samarbetskontakter för framtiden.

Internationella kontakter via organisationer och personer

FFA och Saab etablerade tidigt kontakter med de internationella organisationer som bildades inom flygområdet och deltog flitigt i det internationella utbytet. Några exempel:

- 1952 ICAF (International Committee on Aeronautical Fatigue and Structural Integrity).
- 1958 ICAS (International Council of the Aeronautical Sciences) – kongress i Stockholm 1962.
- 1961 STA (Supersonic Tunnel Association) – FFA första medlem utanför USA.
- 1955 SETP (Society of Experimental Flight Test Pilots).
- 1969 SFTE (Society of Flight Test Engineers).

Under 50- och 60-talen var det flera svenskar i flygbranschen som emigrerade till USA där de arbetade vid olika flygföretag. De skapade därmed ett omfattande kontaktnät som bibehölls även när några flyttade hem till FFA och Saab. De som stannade kvar i utlandet blev ofta dörröppnare för svenskt deltagande i konferenser till vilka svenskar formellt inte hade tillträde, som t.ex. AGARDs olika paneler.

Några av svenskarna i utlandet som innebar bra kontakter: NAE, Canada: Lars Öhman (och Kazik Orlik-Rückeman); MIT: Mårten Landahl;

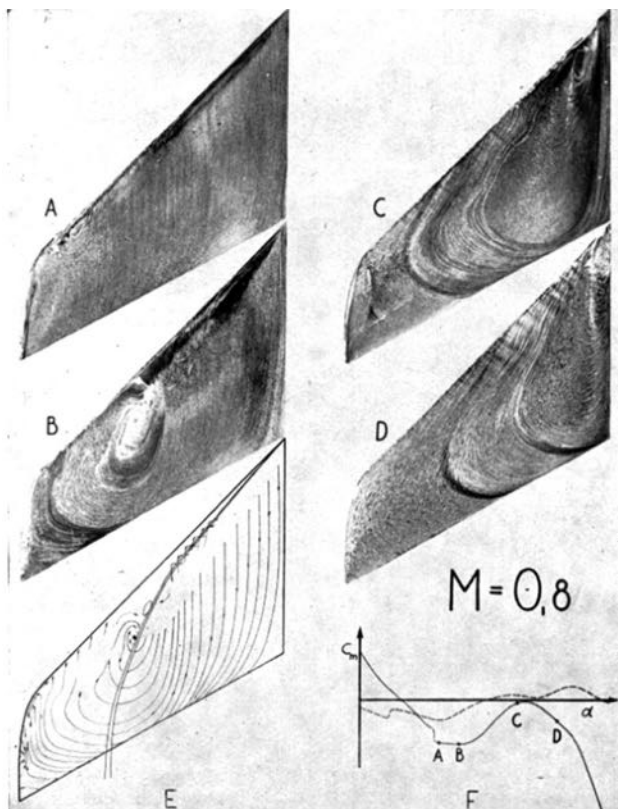


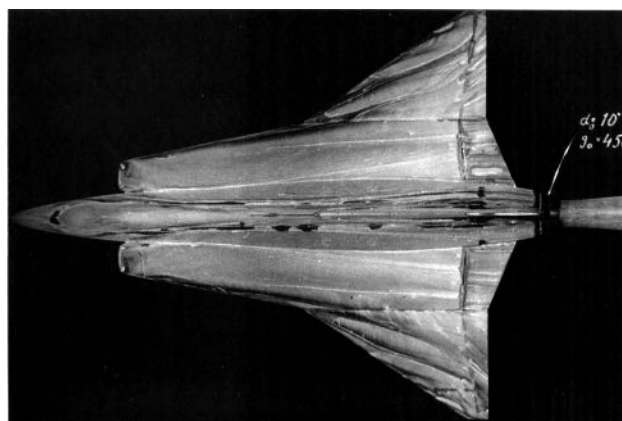
FIGURE 15. Paint test patterns on the suction side of a half-model wing at high subsonic speed for a series of angles of attack.

Lockheed: Lars-Erik Eriksson; Boeing: Bertil Dillner, Ulf Göransson, med flera.

Exempel på nyttan av omvärldsbevakning och kontakter

Ett tydligt och för Saab och Sverige viktigt exempel på omvärldsbevakningens betydelse för teknikutvecklingen är J 29 Tunnan. Efter krigsslutet, redan hösten 1945, besökte Saabs dåvarande projektchef Frid Wänström Schweiz och fick där information, ritningar och data från Messerschmitts senaste utveckling och forskningsresultat från tyska laboratorier. Enligt Wänströms egen uppsats (Saab-minnen del 12/8) diskuterade han saken med Petersohn på FFA och de kom fram till att pilvinge var det rätta för 29:an. Tunnan flög för första gången redan 1948 och den aerodynamiska utvecklingen har beskrivits i flera tidigare artiklar i Saab-minnen. Under utvecklingen på 40-talet gjordes en mängd vindtunnelprovning på FFA av de olika modifieringar som krävdes för att lösa olika problem. I senare artiklar i Saab-minnen (del 29 och 30) har man med moderna beräkningsmetoder försökt återskapa aerodynamiken. En bild från referens 1, B Lundberg 1955, bekräftar resultaten. Det svenska kunnandet om pilvingar var vid denna tid av världsklass.

Designen av 35 Draken och dess dubbeldeltavägningsform har beskrivits i flera uppsatser i Saab-minnen (del 9/3 av Erik Bratt, del 20/14 av Torsten Örnberg, del 30/1 av Inge Gustafsson, del 31 av Tor Stavöstrand). Planformen valdes enligt Bratt för att med främre vingens svepning minska överljudsmotståndet och med bakre vingen få mera spännvidd för höghöjdsflygning. Enligt Örnbergs uppsats hade man inte förstått fysiken bakom hur virvelströmningen runt framkanten samverkar och förstärker lyftkraften. När fenomenet uppmättes i vindtunnelstudier av Lill-Draken på KTH och FFA trodde man först att det var ett mätfel. Men Örnberg, då på KTH, förklarade fenomenet efter flera experimentella studier och fick patent på virveldelarskenor. Enligt senare referenser var fenomenet och fysiken bakom känt av tyskarna redan på 30-talet och Sune Berndt och Kazik Orlik-Rückeman hade skrivit om detta i KTH-rapporter på sent 40-tal. Kanske hade de tillgång till den tyska informationen.



Flygplan 35 Drakens konfiguration utvecklades över tid. Bl.a. förlängdes bakkroppen för att komma tillrätta med stabilitetsproblem vid transsoniska farter. Detta skedde genom omfattande experimentella undersökningar eftersom beräkningsmöjligheterna vid denna tid var mycket begränsade.

Klaus Oswatitsch, som arbetade på KTH 1949-1956, var den som tillförde överljudskunskaper, nödvändiga för utvecklingen av flygplan 35. Hans-Olof Palme flyttade från KTH till Saab och var den som omsatte överljudskunskaperna i praktisk tillämpning. FFA:s planerade överljudsvindtunnlar var inte klara så därför byggde Saab snabbt en egen tunnel av ejektortyp (driven av två Goblin-motorer). Under åren på KTH skrev Oswatitsch en klassisk lärobok "Gas Dynamics", referens 5, som kom ut på tyska 1952 och på engelska 1956.

Tidiga demonstratorprojekt

Under de senaste decennierna, från sent 1990-tal och framåt har demonstratorer blivit vanliga som en viktig del i forsknings- och teknikutvecklingsprocessen för att verifiera en ny teknik som tas fram i forskningsprogram, alltså utanför och före flygplansprojektet. Vi beskriver längre fram i uppsatsen hur detta sker i Sverige och inom EU:s forskningsprogram Clean Sky.

Demonstratorer var dock tidigt vanliga för att skaffa kunskap och erfarenheter om ny teknik, men det var då som del i det aktuella flygplansprojektet. Både 29 Tunnan och 35 Draken innebar stora tekniksprång och är intressanta ur forsknings- och teknikutvecklingssynpunkt. Man använde sig av demonstratorer för att verifiera tekniken och skaffa sig erfarenheter. För pilvingar användes Saab Safir med beteckningen Saab 201 som demonstrator med Tunnans pilvinge i halv skala. Safir användes också som demonstrator vid utvecklingen av 32 Lansens pilvinge, Saab 202. För Draken utvecklades Saab 210 Lilldraken för att skaffa kunskap och erfarenheter om dubbeldeltavingens egenskaper. Se också Saab-minnen 9/10 för utprovning av "Lilldraken".

Tidiga beräkningsinsatser och pionjärbeten under 1950-talet

Börje Langefors på Saab var en pionjär inom utveckling av strukturberäkningar. Med inspiration från elektrotekniken utvecklade han matrisbaserade numeriska beräkningsmetoder som blev banbrytande. De första metoderna, med analogier till elektroteknik utvecklade han redan under perioden 1949-1951.



Experimentflygplan Saab 201, Safir med pilvinge.

Det blev början till den metod som numera kallas Finita Element Metoden, FEM, och som nu är standard i snart sagt alla branscher. Langefors är ofta med på listan över de 3-4 pionjärerna för denna utveckling.

Under de första åren genomfördes alla de numeriska beräkningar som behövs för att lösa ekvationerna manuellt med Facits räknesnurror. En ny yrkeskategori, beräkningsbiträden utvecklades.

Langefors var en mycket kreativ och mångsidig person med matematisk bakgrund och han hade, innan han kom till Saab 1949, sysslat med aerodynamik bland annat på FFA.

Han började tidigt utveckla metoder för analogmaskiner och när digitaltekniken kom såg han snabbt hur den kunde användas för att lösa matrismetodens ekvationer. Här började ett samarbete med Matema-



Experimentflygplanet Saab 210 Lilldraken.

tikmaskinnämnden och KTH. Datamaskinen BESK hade utvecklats på KTH och Saab började använda den. Under Langefors ledning påbörjades utveckling av programmet Samba för strukturberäkningar enligt matrismetoden. Detta program kom att vidareutvecklas (H Jareland och J-O Edén) och användes för beräkningar på både Draken och Viggen och även något i början på 39-projektet. Börje Langefors slutade på Saab 1965 och blev Sveriges första professor i Informationsdatabehandling på KTH. Hans breda gärning beskrivs mer i detalj i boken Tema Flyg, referens 6, T J Hallberg (redaktör). Se också Saab-minnen 13/3 och berättelsen om Langefors i början av denna del av Saab-minnen.

Redan vid utvecklingen av J 29 Tunnan började man tillämpa Nils Lidbros matematiska pionjärarbete med analytiska funktioner för formbestämning. Metoden, FORMELA kom att programmeras och användes på Saab under flera decennier, se avsnittet 80-talet nedan.

Flygplan 37 och datorernas intåg under 1960-talet

Utvecklingen av de analoga elektroniksystem som skett på 50-talet i 35 Draken hade blivit komplicerade och hade nått gränsen för vad tekniken klarade. Utvecklingen av datortekniken, Besk och Sara med mera, gjorde att den flygburna digitala tekniken började bli aktuell i slutet av 50-talet. Viggen kom att bli ett av världens första systemflygplan med digitaliserade funktioner. Det blev en central kalkylator/dator, CK37, och datoriserade

systemfunktioner. Bengt Sjöberg, som anställdes på Saab 1960, och hans kunskap och framsynthet har, tillsammans med framsynta medarbetare på FMV, varit avgörande för att Sverige fick den digitaliserade datortekniken integrerad i Flygvapnets flygplan så tidigt. Sjöberg är ännu ett exempel på vikten av omvärldsbevakning. Han hade varit verksam på Matematikmaskinnämnden på KTH och kände väl till Besk, digitala datorer och programmering. Han hade också under två år varit på MIT:s elektronikavdelning och där inhämtat ny kunskap.

I Saab-minnen del 24/14 beskriver Bengt Sjöberg utvecklingen av tre generationer avioniksystem.

Under 60-talet var det 37-projektet som drev teknikutvecklingen och forskningen. De dominerande aktörerna var industrin, FFA och KTH tillsammans med FMV. Verksamheten var i allt väsentligt nationell och militärt behovsriktad. FMV lade beställningar för forskning och provning, främst på FFA och i beställningarna till industrin för utvecklingsprojekten avsattes en viss procent till intern resursutveckling (RU). Industrin kunde också ansöka hos FMV om separata medel för forsknings- och teknikutvecklingsprojekt, så kallade Teknikstudiemedel.

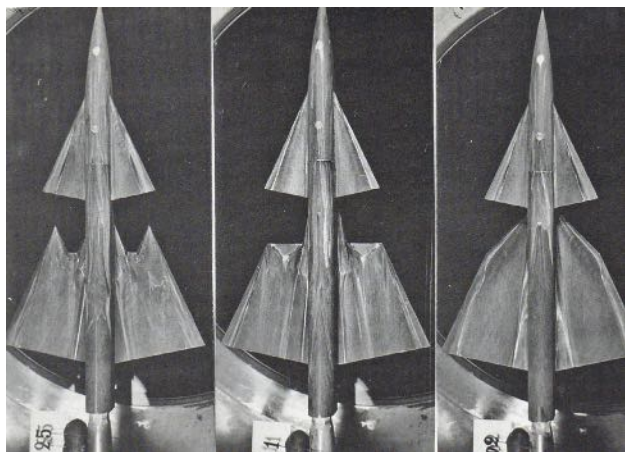
Fram till mitten på 60-talet betalade FMV direkt för alla VT-prov vid FFA (ibland t.o.m med ett visst administrativt påslag för Saab). Men när 37-projektet lämnat förprojektstadiet skedde en förändring i avtalsformerna mellan FMV och industrin, vilket påverkade samspelet mellan FFA och Saab.

På 70-talet var FMV:s beställningar till FFA uppdelade i två delar TFFP (Tillämpad Flygteknisk Forskning och Provning) och PFFP (Projektinriktad Flygteknisk Forskning och Provning). Inom TFFP kunde FFA styra mera själva men inom PFFP var det Saab (Torsten Örnberg) som detaljstyrde.

I början av 60-talet hade FFA begärt ökade anslag från sitt departement, som då var Handelsdepartementet. Enligt en artikel i boken FFA 50 år, referens 7, *Skrift vid FFA:s 50-årsjubileum 1990*, avslogs begäran med bl.a. följande motivering i statsverkspropositionen: *"Vad den militära sidan beträffar präglas som bekant läget av övergången till robotar, varigenom produktionen av bemannade militärflygplan starkt minskat och måhända snart kommer att upphöra"*.

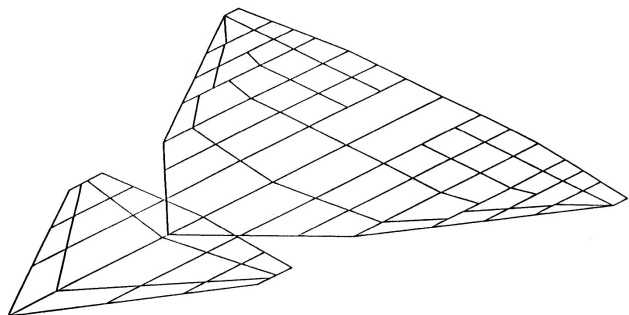
Men redan efter ett år tillsatte FMV en snabbutredning om vad som kunde göras för att öka produktivitet och kvalitet i FFA:s vindtunnlar inför den kommande provningen av flygplan 37. Detta ledde till upprustning av befintliga vindtunnlar och till byggandet av TVM-tunneln.

Inför det som blev flygplan 37 bedrevs en omfattande experimentell konfigurationsutveckling med många experimentella undersökningar i FFA:s vindtunnlar. Detta var en mycket intensiv period och i referens 7 beskrivs hur man hade flera parallella arbetslag i vindtunnlarna. När ett prov genomfördes förbereddes nästa typ av prov av ett annat arbetslag. (Krister Karling har i fem uppsatser i Saab-minnen delarna 9-13 beskrivit utvecklingsprocessen för flygplan 37, främst ur en aerodynamikers perspektiv.)



Några exempel på olika konfigurationer för flygplan 37 som provades i vindtunnel på FFA.

Under 1960-talet påbörjades vid FFA, i takt med att datorer blev tillgängliga, en satsning på utveckling av beräkningsmetodik inom både aerodynamik och hållfasthet. Den valda konfigurationen för flygplan 37 med nosvinge-huvuddeltavinge ledde till aeroelastiska fenomen, där vingen vid höga farter förvreds så mycket att roderverkan försvann. Med de datorer som nu blivit tillgängliga kunde man lösa "stora" ekvationssystem med upp till 50 obekanta. Sven Hedman på FFA hade under sin tid på Boeing utvecklat en beräkningsmodell baserad på potentialströmning "virvelgittermetoden", som nu blev mycket användbar för att beräkna samspillet mellan aerodynamik och strukturstyvhets. Trots den förenklade modellen blev överensstämmelsen mellan beräkningar och flygprov mycket god, referens 8, M I Olsson i boken FFA 50 år i referens 7. Aeroelasticiteten påverkade också stabilitetskoefficienterna men även denna påverkan blev nu beräkningsbar. Under flera år in på 70-talet fortsatte denna beräkningssamverkan Saab-FFA. Varje ändring i vingstrukturen ledde till nya styvhetsmatriser som skickades som hålkortsbuntar till FFA där de stoppades in i beräkningsmodellen.



Denna enkla modell av 37 Viggen fångade upp sambandet mellan aerodynamik och struktur för aeroelastiska studier.

På FFA hållfasthetsavdelning utvecklades under slutet av 60-talet ett FEM-beräkningsverktyg BASIS för analys av flygplansstrukturer av metall och komposit. Detta vidareutvecklades under 70-talet och användes under 80-talet när FFA på uppdrag av FMV genomförde s.k. skadetålighetsbedömningar av delar till AJ 37 och JA 37.

1970-talet: Projektstudiernas årtionde med oklar framtid

Datorkraft, digitalisering och systemteknik fortsätter att utvecklas, 37-an som demonstrator, kompositmaterial och digitalt styrsystem. Grunden läggs för att kunna utveckla flygplan 39.

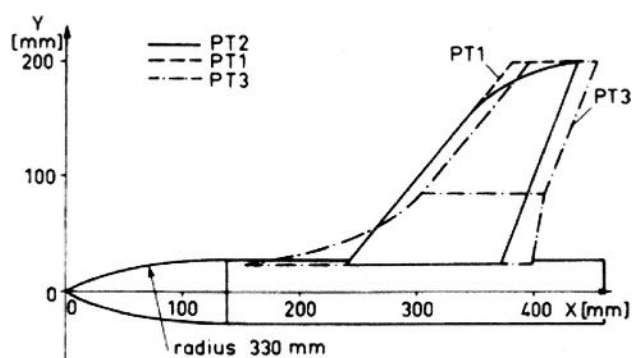
1970-talet karakteriseras av de många projektstudier som bedrevs. Inom politiken fanns ett starkt motstånd mot nya stora flygplansprojekt efter 37 Viggen som ansågs ha blivit för dyrt. På en socialdemokratisk partikongress 1972 togs ett beslut om nästa militära flygplan skulle ha "måttliga" prestanda men tolkningarna av vad som menades med detta varierade. Projektstudierna inriktades mot transsoniska underljudsplan med pilvinge, vilket under senare delen av 70-talet resulterade i projektet B3LA och dess varianter SK38/A38, som till slut lades ner i februari 1979 (se Saab-minnen del 17/9 Tommy Ivarsson). Nedläggningen blev samtidigt startskottet för en ny period med utvecklingen av Saab 340 och JAS 39 Gripen.

Parallellt med projektstudierna vidareutvecklades flygplan 37 och digitaliseringen ökade. Jakt-Viggen JA 37 med starkare motor (förlängd bakkropp), ny radar, ny centraldator med fem ggr större kapacitet, automatkanon mm blev klar i slutet av 70-talet och serietillverkades under 80-talet.

Under tidigt 70-tal deltog Saab i Europlaneprojektet, ett tilltänkt gemensamt passagerarflygplan för 200 passagerare, tillsammans med brittiska BAC, tyska MBB, och spanska CASA. Vid Malmö Flygindustri pågick under 70-talet MULAS-projektet (Multi Utility Light Airborne System) som senare blev Saab 1082 och 1083.

Även forskningsverksamheten vid FFA inriktades under 70-talet mot pilvingeflygplan och transsonik. Nu fanns det också möjligheten att designa vingar med hjälp av beräkningsmetoder med en invers mod. En serie pilvingar med familjenamnet PT (P=pilvinge, T=transsonisk)

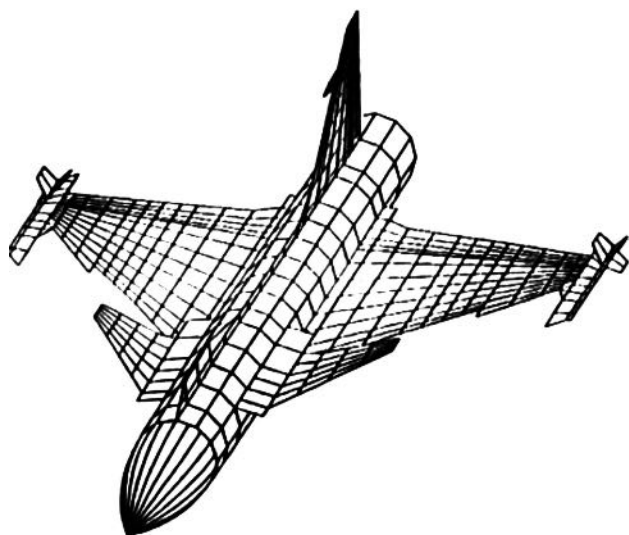
utvecklades och verifierades i detaljerade vind-tunnelstudier, referens 9, A Gustafsson och R Mattson.



De experimentella resultaten blev värdefulla för validering av de aerodynamiska beräkningsmodeller som utvecklades starkt under 70-talet i takt med att mera datorkraft blev tillgänglig; linjära panelmetoder, transsoniska differensmetoder, TSP, (Transonic Small Perturbation) och mot slutet av 70-talet Euler-metoder för virvelströmning.

Woodwards panelmetod – FFA WING-BODY

Ett exempel på metodutvecklingen vid FFA är den linjära panelmetoden för både över- och underljudsströmning som utvecklades i slutet av 60-talet och början av 70-talet, baserad på Frank Woodwards arbeten, referens 10, F A Woodward. Sven Hedman vid FFA hade arbetat tillsammans med Woodward på Boeing och fick 1971 från sina USA-kontakter en beta-version av denna panelmetod utvecklad för NASA. Programmet saknade dokumentation och innehöll mängder av buggar. Undertecknad (AG) fick som arbetsuppgift att leta fel och validera koden mot på FFA genomförda vindtunnelmätningar



på schematiska robotkonfigurationer. Det blev också en mycket detaljerad användarmanual, referens 11, A Gustafsson, och programmet försågs senare med moduler för aeroelasticitet och yttre last och blev mycket använt på Saab under många år. Saab skriver i referens 8, M I Olsson:

Wing-Body-programmet har använts som huvudprogram vid utvecklingen av flygplan 39, speciellt vid beräkning av effekter av statisk aeroelasticitet. Överensstämmelsen mellan beräkning och flygprov var för flygplan 37 så god att vi ansåg att den dyrbara och komplicerade vindtunnelprovnings av dessa fenomen inte var nödvändig för flygplan 39.

Brottmekanik och skadetålighet

Som följd av vingbrotten på flygplan 37 i mitten av 70-talet växte ett nytt forsknings- och teknikutvecklingsområde fram, brottmekanik och skadetålighet. Saabs samarbeten med FFA, högskolor och med FMV blev omfattande. FMV var starkt pådrivande för införandet av skadetålighetsdimensionering och Pavel Sindelar på FFA, med bakgrund från KTH hållfasthetslära, var en nyckelperson för införandet av den nya dimensioneringsfilosofin.

Detta blev ytterligare ett exempel på vikten av Sveriges samarbetsavtal med USAF. I USA hade man utarbetat specifikationer, Military Specification Mil-A-83444, för området skadetålighet. Sverige och Saab började ett samarbete och experter från USAF kom till Sverige. Saab utvecklade i denna omfattande studie och åtgärdsprogram sin förmåga till att bli heltäckande inom konstruktion, beräkning, dimensionering och provning för skadetålighet (S-E Larsson och L Jarfall). Detta resulterade längre fram i att Saab 39 Gripen blev det första flygplan i världen som från grunden är skadetålighetsdimensionerat enligt Mil Spec Mil-A-83444, alltså även före USA.

Metoden användes redan tidigare på Saab 340 enligt FAR 25 certifieringsregler. Se också Saab-minnen 27/3 av Hans Ansell.

FFA hade i detta sammanhang två olika roller; dels ett nära samarbete med Saab kring forskning och teknologiutveckling och dels som granskande instans och teknisk rådgivare till FMV. I ett omfattande tillämpningsprojekt genomförde FFA, på FMV:s uppdrag, analyser och provning av viktiga strukturkomponen-

ter i flygplan 37 Viggen i syfte att garantera flygsäkerheten och att undersöka möjligheterna till gångtidsförlängning.

Flygplan 37 som demonstrator

Under 70-talet började teknikutvecklingen och forskningen bli mer långsiktig och berörde områden som man såg var i nydanande och som skulle kunna bli viktiga för kommande nya flygplansprojekt. Ett sådant exempel är kolfibermaterial. Saab och FMV såg den framtida potentialen i detta nya material och startade ett utvecklingsprogram. Programmet innebar utveckling och tillverkning av fenan till flygplan 37. Även här utnyttjades samarbetsmöjligheterna med USA. Ett samarbetsprogram startade med Grumman Aerospace. 21 stycken fenor tillverkades och flögs på flygplan 37. Flygplan 37 blev en flygande demonstrator för att utveckla kunskapen om konstruktion och tillverkning i kompositmaterial. Erfarenheterna från detta projekt reducerade risker och möjliggjorde senare att kolfiberkompositmaterialet kunde utnyttjas i stor omfattning i JAS-projektet.

Flygplan 37 användes också som demonstrator i en teknikstudie av elektriskt styrsystem, ESS. Under perioden 1972-1983 genomfördes studier med ESS i flygplan 37 och när provflygningar med 37-an påbörjades 1982 var det bestämt att flygplan 39 skulle ha elektriskt styrsystem. Detta experimentprogram fick stor betydelse för kunskapsuppbyggnaden och innebar en riskreducering i åtagandet inom JAS-projektet, på samma sätt som kompositfenan på 37-an. Per-Olov Elgcrona ledde experimentprojektet och han blev också ledande för framtagning av styrsystemet i flygplan 39 och betydde mycket för systemets utveckling. Se Saab-minnen 17/6 av P-O Elgcrona.

Detta är två exempel på framsynta teknikstudier och forskningsprogram som blev en kunskapsuppbyggnad och förberedelse inför kommande flygplansprojekt.

Utökade högskolekontakter

Under 70-talet inledde Saab ett mera systematiskt samarbete med olika tekniska högskolor inom olika teknikområden. Som exempel kan nämnas att inom kompositområdet skedde samarbete med materialteknik på LiU/LiTH och relaterat till styrsystem skedde samarbeten med Reglerteknik

och professor Karl-Johan Åström på Tekniska Högskolan i Lund. Med KTH fanns sedan tidigare samarbeten inom aerodynamik, hållfasthet och Flygplansstatik och flygplanbyggnad. Bengt Andersson, Saab var under många år engagerad som lärare vid KTH.

Finansiering

Forskningsverksamheten inom flyg finansierades i allt väsentligt fortfarande av FMV även om STU (Styrelsen för Teknisk Utveckling) och TFD (TransportForskningsDelegationen) finansierade enstaka flygforskningsprojekt med civil inriktning. STU finansierade t.ex. experimentell höglyftsforskning vid FFA, sannolikt motiverat av Saabs deltagande i Europlane-projektet, och delar av MULAS-projektet vid MFI. Oljekrisen på tidigt 70-tal ledde till ett intresse för flygbränslebesparing och TFB finansierade t.ex. studier av flygvägar och bananvändning på Arlanda för att spara bränsle. (Idag 45 år senare kallas det gröna inflygningar!).

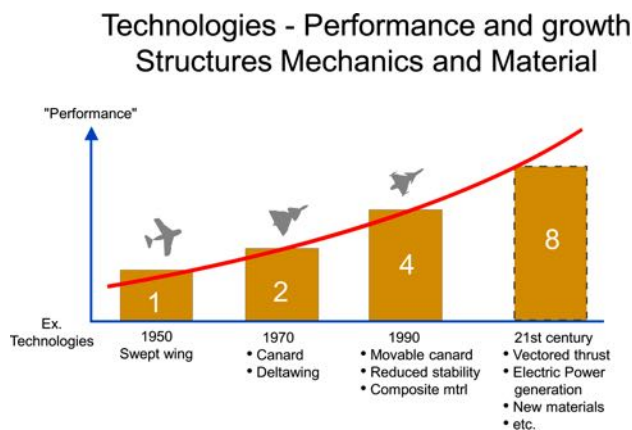
1980-talet: Intensivt årtionde med JAS 39, Saab 340 och Saab 2000

Årtiondet med framtidstro! Kraftsamling i svensk flygteknik. Nya anläggningar: Supercator, Vindtunnel T1500 och akustiklab. Nya teknologier mognar och integreras till JAS 39 Gripen. Avancerade beräkningar, modelleringar och simuleringar möjliggör sammanbyggnad till integrerade modeller. Nya affärsmodeller med omfattande underleverantörsstruktur börjar byggas.

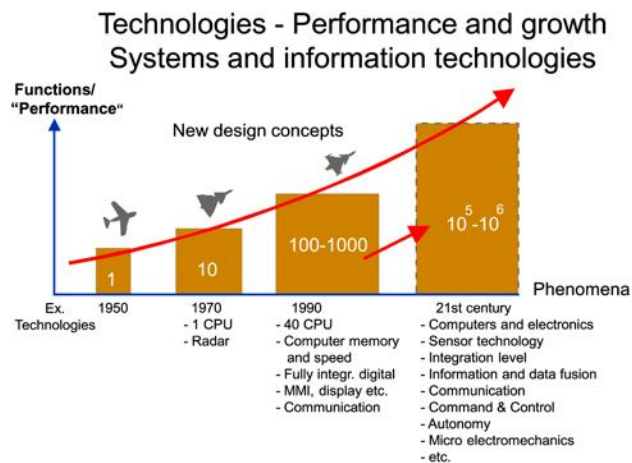
1980-talet dominerades av utvecklingen av JAS 39 Gripen med första flygning i december 1988. Flygplan 39 var det första fjärde generationens flygplan, ett systemflygplan som skulle klara jakt-, attack- och spaningsfunktionerna i ett och samma flygplan till låg vikt och mycket höga prestandakrav. För att uppfylla alla dessa åtaganden var man tvungen att använda de senaste teknologiska landvinningarna från många nya områden, både nya teknologier för flygplanet och nya metoder och processer för att utveckla och tillverka flygplanet och dess system. Man hade studerat områdena och deras potential i förstudier och projekteringar som skett före projektstart. Många av dessa områden var dock inte helt mogna utan teknikutveckling och forskning pågick parallellt under projek-

tet. På vissa områden, t.ex. kompositmaterial och elektriskt styrsystem hade experiment-/demonstratorprojekt genomförts som beskrevs ovan. Aerodynamiska konfigurationsstudier genomfördes och vingstudier skedde också i samarbete med Lockheed etc.. Intressant läsning för mer information om hur flygplan 39 definierades finns i Saab-minnen 19/13 av Tommy Ivarsson med flera. En generell referens är Gripenkrönikan med U Rehme som redaktör (se referenslistan).

Samtidigt med JAS-projektet pågick sedan 1979/80 utveckling av Saab 340, med första flygning 1983 och i slutet av 80-talet startade utveckling av Saab 2000, som gjorde sin första flygning 1992. Utmaningarna under 80-talet var många och en omfattande teknikutveckling och forskning genomfördes och den kom att fortsätta in på 90-talet på många av områdena, för att bidra till utveckling av nya versioner av flygplanen. Saabs satsning på civila flygplan beskrivs av U Edlund i referens 12.



Prestandapotential i mekanikens, fysikens, och materialens teknologier.



Prestandapotential i elektroniken, sensorernas och datorernas teknologier.

Exempel på teknikutveckling och forskning

Elektronikens, sensorernas och datorteknikens utveckling möjliggjorde utvecklingen av Gripen-flygplanet som det första fjärde generationens systemflygplan. Här skedde en enorm utveckling inom de flesta systemområden inkluderande både grundflygplanets system, styrsystemet, elektronik- och avioniksystem, samt de taktiska systemen för jakt, attack och spaning. Nya forskningsprogram startade på ett antal systemrelaterade områden som t.ex. informations- och systemintegration, människa-maskin interface och presentationsteknik etc..

Saab hade från tidigare flygplan ett bra "track record" i att nyttja potentialen i kommande teknologier, men för Gripen var det en större mångfald av nya teknologier och det var potentialer som nyttjades till fullo. I figurerna nedan ges en kvalitativ illustration genom flygplangenerationerna och framåt. Se också referens 13, B Fredriksson eller Saab-minnen 30/6.

Några exempel på specifika nya teknikområden som drevs fram av flygplan 39, Saab 340 och Saab 2000 och som utvecklades starkt och där forskning och samarbeten med universitet och högskolor initierades. Även högskolornas civilingenjörsutbildningar påverkades:

- Kolfiberkomposit: Konstruktion, beräkning, dimensionering, provning och tillverkning.



- Oförstörande Provning, OFP/NDT som är avgörande för kompositanvändning utvecklades starkt.
- Brottmekanik och skadetålighet: Konstruktion, beräkning, dimensionering och provning enligt skadetålighetsfilosofin.

Gripen var det första flygplanet som konstruerades enligt Mil Spec A-83444. FFA bidrog här som utvecklare av modeller och med material- och strukturdata. Referens Saab-minnen 27/3 av Hans Ansell.

- Elektronik och dator teknik möjliggjorde en stark utveckling av simulatorer och simuleringsmetodik. För t.ex. JAS- simulatorn, Referens Saab-minnen 23/13 av Lennart Ahlberg.
- Flygprovningssmetodiken utvecklades också starkt med avancerat mätsystem i Gripen, telemetri, utvärderingscentral SAPUC, koppling till simulatorcentralen och utveckling av provcentralen Houston. Referens Saab-minnen 27/9 av Bengt Oredsson.
- Elektromagnetisk teknologi: Den omfattande elektroniken och datorerna i Gripenflygplanet krävde konstruktion, beräkning, dimensionering och provning och verifiering för tålighet mot elektromagnetiska störningsfält. Omfattande forskning startade i samarbeten med universitet och högskolor, både nationellt och internationellt. Referens Saab-minnen 21/17 av Bo Wahlgren.
- Turbopropflygplanet Saab 340 drev fram ett behov av bullerdämpning. Teknikutveckling och forskning inom akustikområdet startade och samarbete mellan Saab och FFA/KTH initierades. Beräkningsmetoder och provningskapacitet utvecklades till högsta internationell nivå under ledning av Urban Emborg Saab och Peter Göransson FFA/KTH. (Mera om detta och akustiklabb vid FFA nedan).
- Ett annat nytt område som var viktigt för 340 och 2000 var höglyft- och slipströmsaerodynamik. Där utvecklades ny beräkningsmetodik i nära samarbete mellan FFA och Saab. Experimentella undersökningar av slipströmseffekter gjordes i FFA LT1. För att bättre förstå inverkan av Reynoldstaleffekter genomfördes i ett STU-finansierat samarbetsprojekt mellan Saab och FFA en detaljerad strömnings-undersökning i RAE:s stora trycksatta låghastighetsvindtunnel ($\varnothing=5$ m) med den vindtunnelmodell för 340, som använts vid de många prov som gjorts i den stora Emmen-tunneln i Schweiz.

- Saab har traditionellt varit framstående inom limningsteknik, speciellt metallimning, Referens, Saab-minnen 14/7 N Häggkvist, 16/16 B Leckne och 23/4 O Ljungström. Metoden tillämpades och utvecklades starkt under Saab 340-projektet.

Första superdatorn och utökade beräkningsmöjligheter

Ett intressant och viktigt samarbete mellan Saab och universitet och forskningsinstitut som påbörjades 1982 i samband med starten av JAS-projektet och som pågår fortfarande är anskaffning av superdatorkapacitet för beräkningar. Det startade med anskaffning av superdatorn CRAY1 (1983) som då var norra Europas kraftfullaste dator.



Superdatorn Cray1 finns nu på Tekniska Museet, ITceum.

Samarbetspartners var LiU (Nationellt Superdatorcentrum, NSC), SMHI och Saab. Datorn kunde användas av alla svenska universitet. Samarbetet fortsatte och många nya versioner datorer anskaffades. Numera drivs superdatorverksamheten i Sverige av SNIC, Swedish National Infrastructure for Computing) där NSC ingår.

Datorkraftens utveckling som redan under 70-talet utvecklats starkt innebar helt nya möjligheter för numeriska beräkningsmetoder. Man kunde nu lösa komplexa ekvationer för avancerade beräkningsmodeller, också i realtid vid simuleringar. Exempel på viktiga områden är:

- Aerodynamik (referens Saab-minnen del 22/12, 23/8 och 24/10 av Bert Arlinger och Yngve Sedin).
- Strukturmekanik, optimering och aeroelasticitet, dynamiska och olinjära problem som tex fågelkollisioner. Uppsatsen Strukturen i JAS 39 Gripen, Saab-minnen del 22/4 av

Lars Sjöström med flera beskriver tillämpningen på flygplan 39 Gripen, utvecklingen av programvaror och samarbetena med FFA, KTH, Lawrence Livermore med flera. Se också referens 15, B Fredriksson, L Sjöström.

- Elektromagnetism (se ovan), Akustik och buller (se ovan).

Fler exempel på modern beräkningsmetodik inom aerodynamik och strukturmekanik kommer i ett senare avsnitt.

Inom alla dessa områden initierades forskning och samarbeten med universitet och forskningsinstitut, främst FFA, KTH, Chalmers och LiU/LiTH men också internationellt, t.ex. MIT, Southampton, Cranfield med flera.

Datorkraftens utveckling innebar också en stark utveckling av datorstödda konstruktions- och produktionsmetoder. Nils Lidbros analytiska metod FORMELA, Saab-minnen 8/6, kom att kopplas ihop med Saabs NC program Saab-Adapt och systemet Gerber. En viktig drivkraft i denna CAD/CAM utveckling på Saab under 60-, 70- och 80-talen var John Johansson, "J-kvadrat". I samband med starten av JAS-projektet införskaffades CADAM och senare CATIA, som numera i sin senaste version CATIA V5 ersätter de övriga systemen. Också beräkningsprogrammen inom många områden får sina indata från flygplanets 3D-definition i CATIA. Se Saabminnen 14/6 och 15/9 av L Furingsten och Saab-minnen 22/4 av L Sjöström m.fl. samt referens 19 av G Holmberg.

Dessa sammankopplade konstruktions- och produktionsmetoder har utvecklats starkt under JAS-projektet och har blivit en väsentlig del i Saabs modellbaserade helhetsgrepp för utveckling och tillverkning. Se avsnittet 1990-talet nedan och referens 19, G Holmberg.

Industriell verksamhet innebär ständiga krav på effektiviseringar och kvalitetsförbättringar. Dessutom innebar JAS projektets fastpriskontrakt en särskild utmaning. Detta innebar att processerna, metoderna och verktygen för både utveckling och produktion utvecklades starkt under 80-talet.

Med influenser från omvärlden, främst Japan och Toyota och från USA med LEAN-metodiken, som började inom bilindustrin, initierades omfattande förändringsarbeten på Saab under slutet av 80-talet och som fortsatte och som systematiserades under 90-talet.

Detta initierade också många forskningssamarbeten med universitet och högskolor som kom att fortsätta under många år och pågå inom vissa områden än idag.

Med datorernas och programvarornas utveckling blev det möjligt att ta fram för flygplanet mer heltäckande beräknings- och simuleringsmodeller. Det blev möjligt att integrera områdena och modellera deras samverkan. Kvaliteten och även effektiviteten kunde förbättras. Det så kallade Modellkonceptet började utvecklas på Saab, referens 15, B Fredriksson och L Sjöström och Referens Saab-minnen 30/6 och Saab-minnen 22/4 L Sjöström med flera. Utvecklingen fortsatte under 90-talet, 00-talet och fortsätter än idag. Idag är Saab i framkant och metodiken är allmänt använd i världen under benämningar som Model Based Design/-Engineering/-Systems Engineering, MBD/-E/-SE.

Denna utveckling som påbörjades på 80-talet innebar initiering av nya forskningsområden och forskningssamarbeten som också innefattade organisation och ledarskap, Engineering Management. Det var dock först under 90-talet som forskningen blev mer omfattande och ganska stora områden startades. (*Återkommer till detta under avsnittet 90-talet nedan*).

Flygforskningsutredningen 1982

Diskussioner om behovet av nya vindtunnlar hade pågått länge och en utredning "Svensk Flygteknisk Forskning – Långsiktig inriktning och resursbehov", referens 22, genomfördes 1982 med Mårten Landahl KTH/MIT som utredare och medförfattaren AG som sekreterare. Utredningen föreslog bl.a.:

- Utökat civilt flygforskningsprogram.
- Mera forskar- och vidareutbildning inom flygteknik.
- Större investeringar: superdator (Cray1), ny låghastighetsvindtunnel, begagnad transsonisk vindtunnel, ny forskningssimulator.
- Mindre investeringar: Gränsskiktswindtunnel, Akustiklaboratorium.
- Ett fristående råd för flygteknisk forskning.

Med inspiration från Saabs satsningar på civila flygplan prioriterade utredningen en satsning på en ny låghastighetsvindtunnel. Förslaget om begagn-

nad transsonisk vindtunnel låter kanske märkligt men idén var att det skulle gå snabbt för att bli användbart för JAS utvecklingen (en lämplig vindtunnel fanns till salu i USA).

Ett flygtekniskt råd inrättades 1984 under dåvarande industridepartementet men rådet lades ner redan 1990. Det svenska politiska systemet har alltid haft svårt att åstadkomma ett samlat grepp som berör flera departement och deras olika myndigheter. Så är det fortfarande.

Civilt flygforskningsprogram under 1980-talet

När Saab 1979 påbörjade utvecklingen av Saab 340 aktualiserades frågan om ett svenskt civilt flygforskningsprogram. Under 1970-talet hade STU (Styrelsen för Teknisk Utveckling) och TFB (TransportForskningsBeredningen) finansierat enstaka civila projekt efter spontana ansökningar.

STU flygtekniska ramprogram startade 1982 med finansiering från STU och finansierade projekt på FFA och olika högskolor (KTH, Chalmers). För programmet fanns en styrgrupp med representanter för Saab, Volvo Aero, FFA, SAS, FMV och högskolorna. STU lade ut administrationen av programmet till FFA, där undertecknad AG hanterade detta under åren 1982–1991). Förutom satsningar på de klassiska områdena aerodynamik och hållfasthet tillkom några nya tillämpningsområden som propeller- och kabinakustik, höglyftsaerodynamik, slipströmseffekter, dimensionering av skalkonstruktioner, landställslaster m.m..

Programmet finns beskrivet i referens 23, U Edlund och A Gustafsson och 24 STU Ramprogram. Den finansiella omfattningen var vid slutet av 80-talet 11 MSEK/år (motsvarar ca 22 MSEK/år 2020) för arbeten vid FFA och högskolor. Till detta kom industrins egeninsatser. Bland mera tillämpade projekt kan nämnas studier av projektet FTP 75 med kontraroterande propellrar i KTH:s vindtunnel L2 (se uppsats av K Nilsson i Saab-minnen del 22/6) och ett samarbetsprojekt mellan FFA, Saab och SAS för mätning av enroute-noise. Resultaten från detta projekt bidrog sannolikt till att propfan-utvecklingen på 80-talet avbröts (se uppsats i Saab-minnen del 21/7 av K Nilsson och L Eriksson).

Kuriosa: FMV ansåg vid denna tid att Navier-Stokes metoder var alltför futuristiska att satsa forskningspengar på. Därför blev det så att utveckling av Eulerkoder fortsatte med FMV-finans och Navier-Stokes koder utvecklades med STU-finansiering).

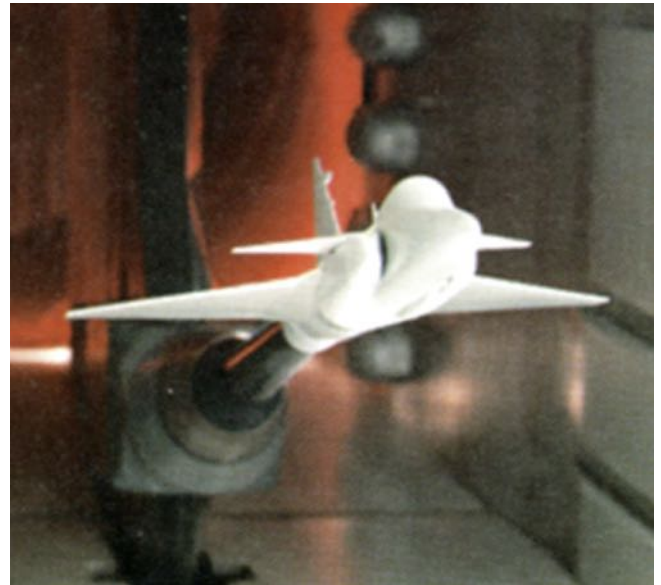
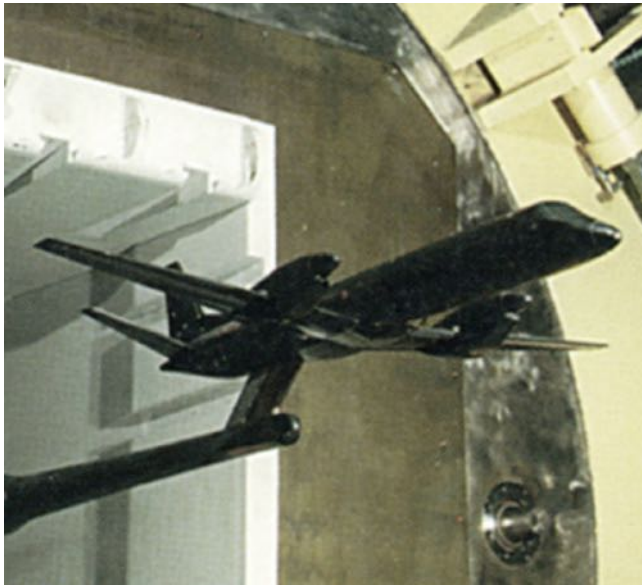


Överst: FTP 75 i KTH L2. Ulrika Westerlund håller i skruvmejseln. Därunder Ted Thomsson vid Saab 340 i FFA LT1. Infälld propellermodell för CFD-beräkningar.

Superdatorn Cray1, vindtunnel T1500 och akustiklabb vid FFA

En del av förslagen i flygforskningsutredningen realiserades. Den första superdatorn Cray1 var redan på gång och har senare följts av nya generationer med en otrolig kapacitetsutveckling. Ett nytt laboratorium för kabinakustik byggdes på FFA (invigt 1989) och en gränsskiktstunnel på KTH.

Vid FFA byggdes den nya transsoniska vindtunneln T1500 ut stegvis, först med vad som i den politiska världen kallades ”ny mätsträcka” (1,5 m×1,5 m) kopplad till FFA:s befintliga



Saab 2000 och Gripen i FFA T1500-tunnel.

drivsystem och senare kompletterat med ett nytt drivsystem med högre kapacitet. Tunneln var trycksatt (4 bar) för att uppnå högt Reynolds tal. T1500 invigdes officiellt i april 1990.

I praktiken kom tunneln för sent för JAS-utvecklingen även om den blev användbar för studier av yttre last (beväpning och vapenseparation). En speciell rigg utvecklades för detta ändamål. Efter FFA:s fusion med FOA till FOI har vindtunnelverksamheten avvecklats och T1500-tunneln sålts till Korea!

Ett strukturakustiskt labb byggdes också upp vid FFA och i detta genomfördes mätningar för validering av bullerdämpning i kabinen. FFA och Saab byggde tillsammans under 80-talet upp en unik kompetens inom aktiv bullerdämpning.



Saab340 kropp i FFA:s akustiklabb.

På Saab var Urban Emborg ansvarig. Peter Göransson, som var ansvarig för akustikverksamheten på FFA, blev senare professor på KTH. Där finns idag en omfattande akustikverksamhet och Marcus Wallenbergslaboratoriet för ljud- och vibrationsforskning (MWL).

Internationellt flygforskningssamarbete via kontakter

Internationellt forskningssamarbete var fram t.o.m. 80-talet begränsat till vad som uppnåddes via informella kontakter som ofta uppkom genom svenskar som arbetade utomlands inte minst i USA. Ett exempel är Mårten Landahl, som länge innehade professorer på både KTH och MIT, och förmedlade många kontakter i USA. FFA skickade under 80-talet flera nyanställda unga civilingenjörer på ett Mastersprogram på MIT. Förutom snabbt ökande kunskaper inom teknikområdet etablerades värdefulla kontakter. Det hände att de efter hemkomsten till Sverige kunde fortsätta att informellt nyttja NASA:s superdatorer. Några är idag professorer på svenska högskolor (Dan Henningsson KTH, Peter Göransson KTH). Ett annat exempel är Joakim Westh som numera är ledamot i Saabs styrelse.

Sveriges medlemskap i internationella samarbetsorganisationer var vid denna tid begränsat. Men AGARD Fluid Dynamic Panel (FDP) hade en ordförande från Kanada, Kazik Orlik-Rückeman. Han hade doktorerat på KTH och arbetat på FFA och såg till att svenska kollegor blev inbjudna till olika konferenser och samarbetspro-

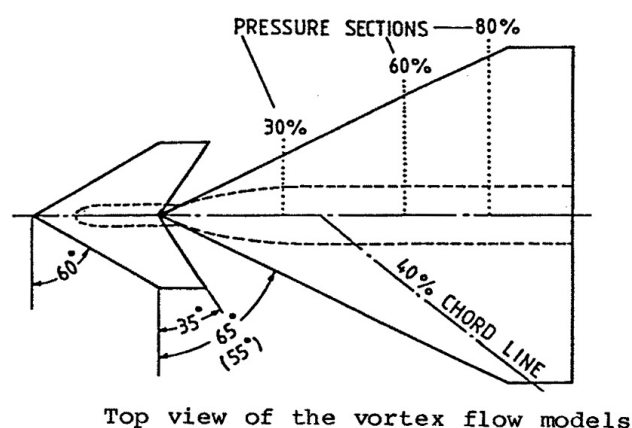
jekt. Vid ett möte med AGARD Fluid Dynamics Panel tog FFA initiativ till Euler-projektet (mera nedan) och därmed blev Sverige en del av ett större internationellt projekt. Ett annat exempel är deltagandet i AGARD Structures and Materials Panel (SMP). Lars Jarfall, som på tidigt 60-tal arbetat på Boeing hade där fått bra kontakter. Efter återkomst till Sverige 1966 (FFA ca 10 år och därefter på Saab) kunde han informellt delta på möten inom utmattning och brottmekanik. Anders Blom från FFA deltog också flitigt i AGARD SMP.

Eulervingen – ett tidigt och prisbelönt internationellt samarbetsprojekt

Euler-koder för att beräkna virvlarna över en deltavinges framkanter började utvecklas under 1970-talet i takt med att kraftfullare datorer blev tillgängliga. Med dessa koder kan man också beräkna hela strömningsbilden över ett nosvingearrangemang. Metoden är mycket datorkrävande och smart indelning av beräkningsrymden i volymselement är avgörande för resultaten.

Ett internationellt samarbetsprojekt - First International Vortex Flow Experiment (VFE-1) - startade 1982 för beräkningar och experiment med en noggrant definierad deltavinge (se figur). Deltagare var från Sverige (FFA), Tyskland (DLR, MBB, Dornier, TU Braunschweig), Holland (NLR och TU Delft) samt USA (USAF Wright Lab). Noggranna detaljerade mätningar genomfördes i olika vindtunnlar och jämfördes med beräkningar gjorda av olika deltagare. Resultaten har också nyttjats för validering av de beräkningskoder som senare har utvecklats.

Projektet belönades med ICAS von Karman Award 1988, referens 25, G Drougge. Projektet är ännu ett exempel på vikten av personliga kontakter.



Top view of the vortex flow models

1990-talet: Fortsatt intensivt årtionde med utveckling och serieproduktion av Saab 39 Gripen, Saab 340 och Saab 2000 Globalisering, avregleringar och nya affärsmodeller - modellbaserad utveckling växer fram - stora förändringar inom forskning, teknikutveckling och kompetensförsörjning.

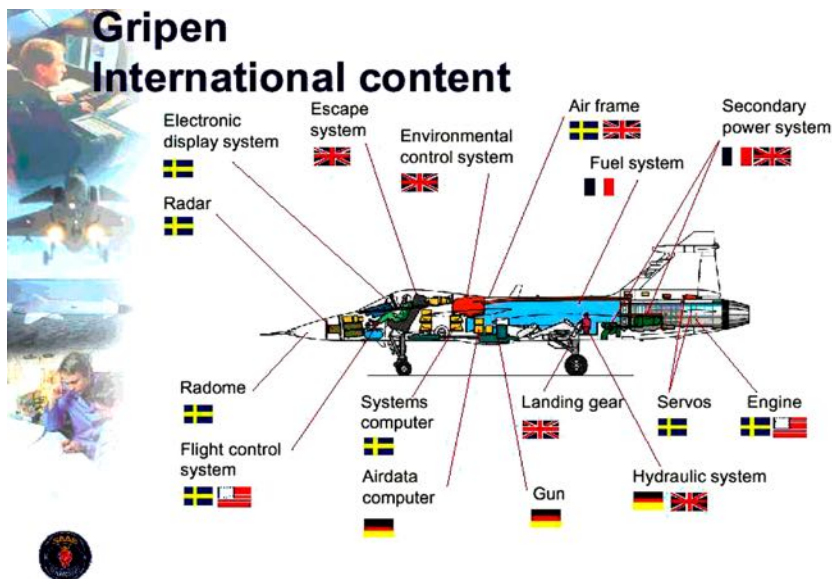
Europeiskt flygforskningssamarbete intensifieras och formaliseras under 1990-talet. Svenskt EU-medlemskap.

Flygplan 39 Gripen fortsätter utvecklas med nya versioner: tvåsitsiga 39B med första flygning 1996 och 39C och tvåsitsiga 39D med beställning 1997 och första flygning 39C 2002 och 39D 2004. Saab 340 fortsätter produceras och nya versioner tas fram. Saab 2000 utvecklas och flyger första gången 1992. 39-haverierna 1989 och 1993 innebar stora utmaningar och resulterade i intensiva studier, utveckling och forskning inom styrsystemområdet och det påverkade utvecklingsprocessen, speciellt vad gällde verifiering och validering. Förändringarna kom också att ligga i linje med de förändringar med mer modellbaserad utveckling som hade påbörjats.

Internationalisering och avregleringar inom många områden innebar behov av förändringar som starkt påverkade också forskningsstrukturen och teknik- och kompetensförsörjning för industrin. Redan under 70-talet och 80-talet, för Saabs del i samband med JAS projektet, började affärsmodellerna inom flygindustrin förändras mot allt fler underleverantörer och flygplanleverantörens ansvar blev alltmer fokuserad på systemintegration och sammanbyggnad och slutmontering. Antalet teknologier och system i flygplan 39 är så många, komplexiteten och integrationsgraden så hög att Saab redan inför planeringen och starten av JAS-projektet beslutade att fokusera mycket på de centrala flygtekniska områdena och de centrala systemområdena samt på systemintegration. Många kompetenser och förmågor skaffades då genom upphandling från underleverantörer.

Figuren på nästa sida visar Gripens internationella underleverantörsstruktur i ett tidigt skede.

Flygindustrin insåg att det inte var möjligt att själv upprätthålla teknikutveckling och forskning inom alla områden. Långsiktigheten i teknik- och kompetensförsörjning ökade under 80-talet och utvecklades starkt på 90-talet med utökade samarbeten med universitet och högskolor nationellt



Gripens internationella innehåll.

och internationellt. Man började se utbildning och forskning på universitet, högskolor och forskningsinstitut som långsiktiga strategiska samarbetspartners och underleverantörer av kompetenser och förmågor. Exempel på samarbeten och forskningsområden, som beskrivs mer utförligt senare, ges i figuren nedan.

och forskning startade och nya forskningsprogram och samarbetsformer växte fram. Som nämns ovan påbörjades detta stora förändringsarbete på några områden redan under 80-talet men intensifierades och systematiserades på 90-talet och fortsatte även under kommande decennier. Ett exempel är uppbyggnaden av de så kallade

Swedish Research Establishments and Universities		FFA	FOI	CTH	KTH	LITH	LTH	UU
Examples of Key Areas	System safety							
	System architecture							
	Flight critical systems							
	Decision support, autonomy							
	HMI							
	Flight control							
	Low Observables							
	Aerodynamics							
	Basic aircraft systems							
	Aeroelasticity							
	Structures & material							
	ILS							

Exempel på Saabs forskningssamarbeten med institut och universitet, referens Lars Sjöström Saab.

De nya affärsmodellerna innebar att utvecklings- och produktionsprocesserna förändrades och många nya förmågor måste byggas upp. Det innebar också att nya samarbeten inom utbildning

Design Build Teams, DBT som skedde i utvecklingen av JAS 39B. De olika ingenjörsci-plinerna som frekvent behövde kommunicera samlokaliseras för att effektivisera arbetet.

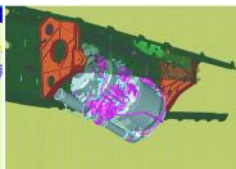
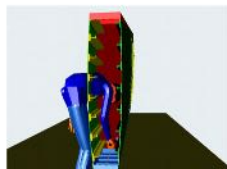
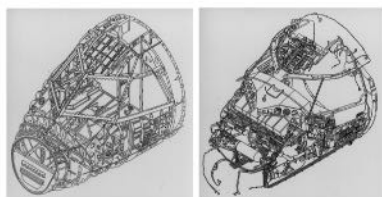
Verktyg utvecklades för att de olika disciplinerna skulle kunna arbeta effektivt tillsammans i arbetsmöten. Ett exempel är de sk DMU rummen (DMU, Digital Mock Up). Med hjälp av modeller och simuleringar fick man en bättre och gemensam förståelse av olika frågeställningar. Verktuget rönne internationellt intresse av bl.a. Airbus och Boeing. Se figuren nedan för en illustration och referens 19, G Holmberg, Integrated Product Development.

Samverkan med underleverantörer förändrades. För effektivare och säkrare kommunikation började modeller av delsystem att användas som informationsbärare. Ett tidigt exempel är utvecklingen av en ny APU för Gripen C/D av Sundstrand i USA. Kommunikation med stöd av modeller med bl.a. funktionsmodellering och 3D CAD modeller testades direkt i APU projektet, s.k. aktionsforskning i forskningsprojektet LARP, Lean Aircraft Research Program (LARP finansierades av NFFP, se nedan). Se figuren på nästa sida och referens 20, G Holmberg, J Liliecreutz, B Fredriksson. Några exempel på forskningens bidrag i projektet:

- Med digitala mockuper gjordes monterings-simuleringar, vilket ledde till att APUn kunde monteras i flygplanet vid första försöket, trots frigångsspel på bara några millimeter, vilket enligt Sundstrand var unikt.
- Med funktionsmodelleringen kunde man fånga flera motsägelser i en ambitiös kravspecifikation i text.

Holistic Integrated Product Development

supported by Digital Mock up Unit, DMU room



DMU rum och CAD-modeller; referens 19 G Holmberg Saab.

Implementation of Collaborative process

- -Establish **workshare** based on skill, decomposition possibilities....
- -Analyse **communication** need
- -Implement **process**
- -Establish **collaborative tools** as needed (project web, shared DMU....)

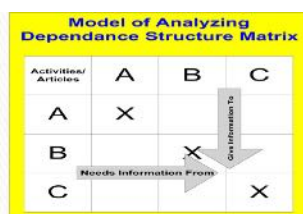
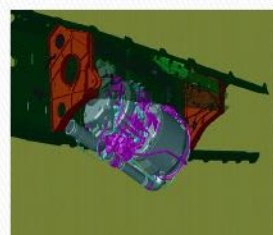
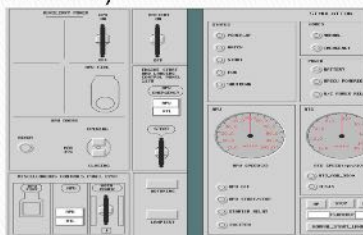
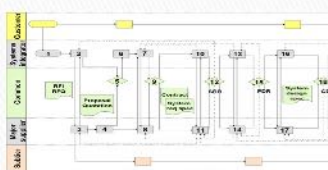


Figure 1: Model of Analyzing DSM



3D modell av APU och grafisk modell av instrument med funktionsparametrar. Från referens 20, G Holmberg m.fl., 2002.

I takt med att modellkonceptet utvecklades så utvecklades också kommunikationen och samverkan med underleverantörer och samarbetspartners till att idag vara bland de främsta inom flygbranschen.

Metoderna som utvecklades för integrerad produktutveckling och produktion tillämpades i utvecklingen av 39C/D. Lars-Erik

Svedlund och hans framkroppsteam var tidigt ute och aktiva i tillämpningen.

Aktörerna inom flyg- och rymdområdena i Sverige började under 90-talet organisera sig för en samordnad långsiktig planering och samarbete. Långsiktiga strategier och planer utarbetas och politiker och beslutsfattare började påverkas mer systema-

tiskt för flyg- och rymdforskning. Se avsnitt om Nationellt Flygtekniskt Forum (NFF) längre fram.

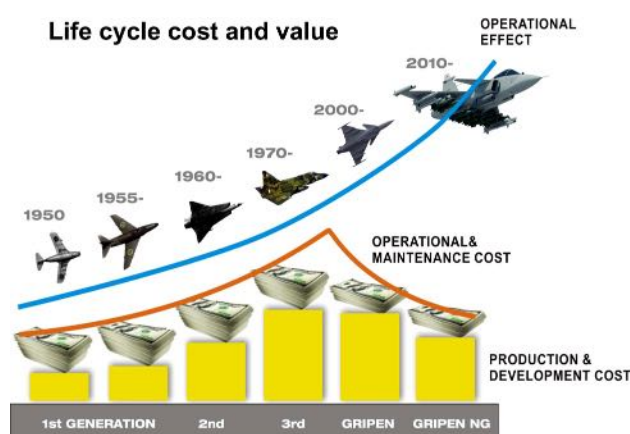
Förutom starten av Saab 340 hade Saab under 70-talet startat verksamhet som underleverantör och samarbetsprogram inom civilt flyg, t.ex. med McDonnell Douglas 1977 och med BAE 1978. Denna verksamhet utökades under 80-talet och 90-talet. 1997 bildades affärsområde Saab Commercial Programs som 2003 blev Saab Aerostructures och samarbetsprogram/ underleverantörsprogram startade med både Airbus och Boeing. För mer information om Saab Aerostructures se Saab-minnen 30/7 av S-G Eriksson. Man kunde där dra nytta av en del av de nya teknologier, metoder, kompetenser och modellbaserade arbetsformer som drivits fram i utvecklingen av flygplan 39 och Saab 340. De samarbeten som byggdes upp med Airbus kom att bli värdefulla när EUs stora civila forskningsprogram senare startade. Mer om det nedan.

Flygindustrin började bli mer aktiv inom forskningen också i områden utanför den mer traditionella flygtekniken. Det rörde områden där andra branscher blivit ledande inom teknikutveckling och forskning, t ex informationsteknologi och datorteknik, sensorer, autonomi och artificiell intelligens, informationsbehandling och även områden inom utvecklings- och produktionsmetoder och -processer, som exemplifierades ovan.

De nya teknologier som utvecklats innebar också nya möjligheter inom försvar och säkerhet. Man såg möjligheter med nya system och produkter. Det nätverksbaserade försvaret och autonoma system är två

exempel. Tack vare möjligheterna som utvecklingen inom de nya områdena gav, började Saab t.ex. att under 90-talet studera obemannat flyg och utvecklade flera mindre UAV-er som teknikdemonstratorer. Mera i senare avsnitt.

En viktig sammantagen effekt av ny teknik, nya metoder, verktyg och processer för utveckling, tillverkning och underhåll av Gripen-systemet och som också forskningen bidragit till under 80- och 90-talen är Saabs möjlighet att bryta trenden med flygplangenerationernas ökande livscykelkostnader. Se figuren nedan. Som exempel på forskning om komplexa system med livscykelperspektiv se Gunnar Holmbergs doktorsavhandling, referens 36, *On Aircraft Development - managing flexible complex systems with long life cycles*. Den sammantagna effekten beskrivs också i referens 18, *Aircraft development - best life cycle value* av B Fredriksson och G Holmberg.



Livscykelkostnad, utveckling, produktion, drift och underhåll.

Exempel på teknikutveckling och forskning

De flesta av områdena vi nämner under 1980-talet ovan fortsätter intensivt att utvecklas också under 1990-talet och även senare. Exempel på nya områden:

- Högastighetsbearbetning, High Speed Machining, HSM utvecklades tillsammans med verktygsmaskinföretaget MODIG Machine Tools i Virserum och verktygsföretaget SECO Tools till en världsledande nivå. Metoden innebär att man väsentligt kunde effektivisera tillverkningen och reducera antalet komponenter i flygplan 39. En viktig kreativ och innovativ kraft för HSM på Saab var ingenjören Kent Strand.

- Utveckling av flexibla verktyg i samarbete med LiTH effektiviserade tillverkningen.
- Med teknikspaning och forskningssamarbete med MIT som syfte startade Saab 1999 ett teknikkontor i Boston, Cambridge. Teknikkontoret gav möjlighet för Saabinjörer att samverka med MIT, deras forskargrupper och laboratorier. Kontoret fanns under ett tiotal år. Samverkan fortsatte sedan i separata forskningsprojekt.
- Saab deltog i ESA:s rymdprojekt Hermes inom styrsystem och aero-termodynamik, se som exempel Saabminnen del 21/8. Projektet fullföljdes inte.
- Under 1990-talet skedde omfattande verksamhetsutvecklingar både inom utveckling och produktion på både de civila och militära programmen. Förändringsarbetena var i linje med Toyota-modellen och Lean production och Lean Aerospace Initiative, LAI, se referens 26 av E Murman MIT. Saabs och LiUs deltagande i LAI i USA och samarbete med MIT under sent 90-tal och under 00-talet bidrog till utveckling av nya metoder och arbetsformer. Saab och LiU körde parallellt med MIT-samarbetet forskningsprogrammet LARP, Lean Aircraft Research Program där också Volvo deltog (1997-2003). LARP var finansierat av NFFP. Mera i referens 20, G Holmberg, J Lilliecreutz, B Fredriksson för modellering och simulering och referens 21, J Lilliecreutz, L Ydreskog för underleverantörsrelationer.
- Den modellbaserade metodiken med helhetslösningar i linje med "Model Based Design" och "Systems Engineering" utvecklades vidare på allt fler områden. Referens Saab-minnen 22/4 L Sjöström med flera, Saab-minnen 26/13, L Ahlberg, Saab-minnen 30/6 B Fredriksson, och referens 19, G Holmberg samt referens 14 och 16, B Fredriksson.

MTF - Microwave Test Facility

Under 80-talet hade som nämnts ovan omfattande kompetens och resursutveckling inom elmiljö utvecklats.

1990 påbörjades utveckling av FMV:s världsunika mobila provningsanläggning för elektromagnetisk högeffektprovning och förmågan att

säkra elmiljö för Gripen var väsentligt utökad. Se Saab-minnen del 21/17 av B Wahlgren.



Gripen under provning i MTF.

FLSC - Flygvapnets luftstridssimuleringscentrum

Under slutet 90-talet byggdes vid FFA i Bromma (senare flyttad till Kista) en simuleringsanläggning för bemannad luftstrid, FLSC (Flygvapnets LuftStridsSimuleringsCentrum). Anläggningen inrymdes, symboliskt nog, i den byggnad där höghastighetsvindtunneln FFA-HT funnits sedan 1944.

Simulatoranläggningen, som då var unik i sitt slag i Europa, med en kombination av både bemannade simulatorer och datorgenererade stridskrafter, används för träning och utbildning av såväl flygförare och flygstridsledare. Den används också för taktikutveckling och operativ kravställning i samband med materielanskaffning. I samband med Gripen-export får även piloter från kundländer träning i FLSC.

Försvarets Dynamiska Flygsimulator

1996 började den avancerade Dynamiska Flygsimulatorn, DFS att byggas i Linköping, Malmslätt och efter omfattande tester och inkörning togs den i operativ drift 2003. DFS används av Flygmedicinskt Centrum för medicinsk och fysiologisk forskning och av FMV och Flygvapnet för träning och test av piloter. I den kombinerade centrifugen och flygsimulatorn kan piloterna träna i en virtuell omvärld under varierande g-krafter. DFS används också av FOI och KTH i deras forskning. DFS är en av totalt tre anläggningar i världen av detta slag. De andra två finns i USA och Singapore.



Dynamiska Flygsimulatorn i Malmslätt.

FoT-program och svenska samarbeten

Försvarets direkta finansiering av svensk flygteknisk forskning (FoT25 och andra FoT-grupper) minskade gradvis under 90-talet och under 2000-talet. Detta var en följd av Berlinmurens fall och kalla krigets slut och att politiken inte längre såg



någon hotbild mot Sverige. Trenden har vänt först nu (2020) med en ökning av försvarsforskningen. Under 90-talet gjordes ett flertal utredningar: FFA-utredningen 1990 (referens 27, SOU 1991:53), Försvarsforskningsutredningen 1991 (referens 28, SOU1992:62) och den utredning (SOU 1999:110) som ledde fram till en sammanslagning av FFA och FOA till FOI vid årsskiftet 2000/2001. Efter sammanslagningen till FOI har den flygtekniska verksamheten där reducerats kraftigt.

Minskningen av försvarets FoT-satsningar kompenserades till viss del genom etableringen av det *Nationella Flygtekniska Forskningsprogrammet NFFP* 1994 och genom deltagande i de europeiska forskningsprogrammen, som tillkom under 90-talet.

STU:s flygtekniska ramprogram hade avslutats 1991/92 efter ca 10 år. STU hade som grundprincip att deras ramprogram för kunskapsutveckling skulle pågå i max sex år och detta hade nu förlängts till ca 10 år. Efter de utredningar som nämns ovan var det nu moget att få till ett nationellt flygforskningsprogram med både civil och militär finansiering. Ett avtal tecknades mellan staten och industrin och första etappen av NFFP kunde starta 1994. Industrin skulle svara för 50 procent av den totala finansieringen och fick i detta nya upplägg projektledaransvaret. Ett beslutsorgan (BO) med representanter för myndigheter och industri bildades. NFFP:s kanslifunktion sköttes inledningsvis av FMV och senare av Vinnova.

Administrationn av NFFP har hanterats av FMV och senare av Vinnova. Sedan *Innovair, Strategiska Innovationsprogrammet för Flyg* (www.innovair.org) startade 2014 ingår NFFP som en del av Innovairs verksamhet. Mera om Innovair i ett senare avsnitt.

I takt med att nya teknologier växte fram och blev intressanta och viktiga för flygområdet har svensk flygindustri, främst Saab och GKN, engagerat sig i forskning och utbildning inom dessa områden. Det gällde både teknologier för användning i flygplanen men också nya metoder, verktyg och processer. Flera nya forskningsprogram startade under 90-talet och har fått efterföljare under senare decennier.

Genom alla dessa program har Saabs samverkan med olika högskolor kraftigt utökats. Mera om hur NFFP har utvecklats och vilka andra forskningsprogram som tillkommit i ett separat avsnitt.

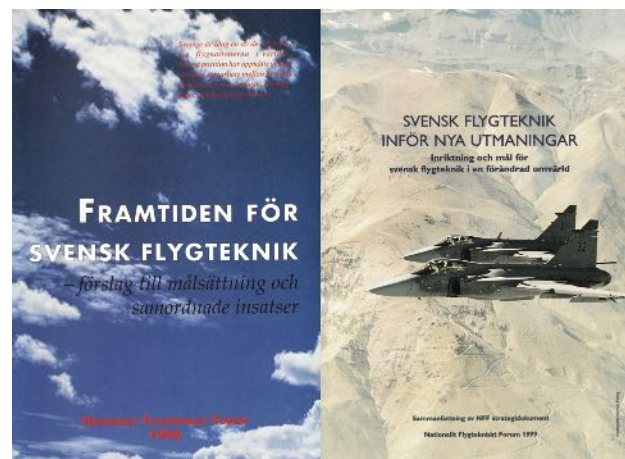
NFF – Nationellt Flygtekniskt Forum

– Ett försök till nationell samordning

Som nämnts tidigare har den svenska förvaltningsmodellen alltid haft svårt att åstadkomma ett samlat grepp som berör flera departement och deras olika myndigheter. Flygtekniska rådet, som inrättades på 1984, var ett nytt försök att lösa problemet men inte heller det blev framgångsrikt.

Ett nytt försök till nationell samling gjordes på 90-talet genom bildandet 1994 av *NFF - Nationellt Flygtekniskt Forum*. I NFF samverkade industrin (Saab, Volvo Aero), myndigheter (FMV, FFA, FOA) och högskolor (KTH, LiTH, Chalmers) med målsättningen ”att verka för bästa inriktning av den framtida flygtekniska utvecklingen i Sverige samt för en relevant utformning av utbildnings-, forsknings- och teknikutvecklingsprogram inom området”.

Olika strategidokument utarbetades: ”Framtiden för svensk flygteknik” (1996), referens 29 och ”Svensk Flygteknik inför nya utmaningar” (1999), referens 30. Lobbyverksamhet bedrevs mot departement och riksdagsutskott. Framgången var begränsad men NFF-aktiviteten bidrog sannolikt till att NFFP-programmet kunde leva vidare och utvecklas. Tjugo år senare (2014) etablerades *Innovair, det Strategiska Innovationsprogrammet för Flyg*, som ganska väl motsvarar det vi hoppades åstadkomma med NFF på 90-talet.



Flygteknisk utbildning startar vid LiTH

1994 startade flygteknisk inriktning på civilingenjörsprogrammet i Maskinteknik på LiU/LiTH, med stöd av Saab och främst Patrick Berry, som under många år arbetade som lärare och bidrog starkt till utvecklingen av programmet. Utbildningen utvecklades positivt och 2010 startade Masterprogrammet Aeronautical Engineering: mer om det under avsnittet 2010-talet.

Osqavia-projektet på KTH

I slutet av 80-talet startades Osqavia-projektet på KTH med finansiering från den samlade flygteknikbranschen. Målet var att studenterna skulle ges tillfälle att tillämpa kunskaper i praktiken genom att bygga ett nydanande ultralätt flygplan. Många examensarbeten och projektarbeten genomfördes i anslutning till Osqavia-projektet och delar till flygplanet färdigställdes på KTH. Teknologer som arbetade med projektet fick timlön. Det visade sig dock svårt att med teknologarbetskraft färdigställa planet bl.a. eftersom studiemedelssystemet premierade avklarade tentor och extrainkomster minskar studiebidraget.

Projektet överfördes i slutet av 90-talet till Saab i Linköping där tanken var att slutföra bygget vid Saabs industriskola. Niklas Anderberg, som läst flygteknik på KTH och arbetade på Saab, blev engagerad i gruppen som skulle bygga färdigt flygplanet. Så småningom fick Niklas överta det ofärdiga projektet och fortsätta i egen regi.

Resultatet blev det ultralätta Blackwing-flygplanet www.blackwing.aero som tillverkas i en fabrik i Eslöv.



Europeiskt flygforskningssamarbete formaliseras under 1990-talet

Utvecklingen av det europeiska forskningssamarbetet präglas av att många olika intressenter agerar och av politiska överväganden. Det innebär att framväxten har skett i relativt fragmenterade och konkurrerande former som succesivt har lett fram till ett alltmer samlande grepp.

EU-projekt

De första gemensamma flygforskningsprojekten inom EU initierades 1989. Även om Sverige inte var EU-medlem inbjöds vi att delta med nationell finansiering. (Vid denna tidpunkt var ett svenskt EU-medlemskap ännu inte aktuellt.) Den första pilotfasen omfattade 28 projekt och Saab/FFA/Volvo Aero kom med i sju av projekten

(= 25 procent) vilket väckte viss uppmärksamhet eftersom andra branscher bara kom med i ca 3 procent av EU-projekten. Att vi kom med i så många projekt berodde delvis på att vi från tidigare samarbeten råkade känna några nyckelpersoner som koordinerade projektansökningar inom olika områden.

Saab och FFA kom med i det största projektet i pilotfasen med start 1989 – ELFIN (European Laminar Flow Investigation). Projektet innehöll bl.a. flygprov med en ”laminär-handske” på en Fokker 100, där Saabs bidrag var att konstruera och tillverka en vakkra för mätning av luftmotståndet. Yngve Sedin skriver om detta i Saab-minnen 24/10. Några decennier senare har Saab en viktig roll i ett av de största demonstratorprojekten inom Clean Sky – BLADE (Breakthrough Laminar Aircraft Demonstrator in Europe). Mera i Clean Sky avsnittet senare.

Under de första åren före EU inträdet 1995 fick vi delta med nationell finansiering och svenska deltagare var välkomna i de flesta projekt. Flygforskningsinstitutet hade redan 1989/90 bildat en arbetsgrupp kring EU-projekten – Aeronautical Research Group (ARG), där medförfattaren AG kom med under hösten 1990. Detta var flera år innan EREA bildades. Via ARG-gruppen fick AG redan 1991 också delta i Aeronautical Research and Technology Committee (ARTCO) i Bryssel och kunde där föreslå svenskar till olika uppgifter. Anders Blom och Peter Göransson från FFA lär ha varit de första svenskar som deltog som proposalutvärderare på tidigt 90-tal. Peter var också förste svensk att vara projektkoordinator för ett EU-projekt (BRAIN 1992-96 om Aircraft Interior Noise), men eftersom Sverige ännu inte var medlem måste finanserna hanteras via ett universitet i Belgien. Detta gav nyttiga erfarenheter inför EU-inträdet 1995 när vi måste konkurrera inom den gemensamma EU-finansieringen.

EU-projekten ökade gradvis under 90-talet genom de olika ramprogrammen. När denna uppsats skrivs går EU:s åttonde ramprogram *Horizon 2020* för sjuårsperioden 2014-2020 mot sin avslutning. Mera om detta i Clean Sky avsnittet senare.

Genom deltagandet i EU-projekt och i GAR-TEUR-projekt ökade kontaktytorna i Europa mycket snabbt under 90-talet. Flygindustrin hade gruppen EUROMART/IMG där Saab deltog och

FFA deltog inom flygforskningsinstitutens EREA/ARG. Motorindustrin hade en egen grupp där Volvo Aero deltog. Genom överhörning mellan dessa grupper kunde vi snappa upp vilka projektkonsortier som var på gång och det svenska deltagandet utvecklades mycket snabbt.

GARTEUR (Group for Aeronautical Research and Technology in EUROpe)

Sverige blev 1991 femte medlemsland i GARTEUR (www.garteur.org) som bildats på 1970-talet av Airbusländerna Frankrike, Tyskland och Storbritannien och är ett samarbete med avtal på regeringsnivå. Nederländerna blev medlem på 80-talet. Efter Sverige har också Italien och Spanien tillkommit. GARTEUR är unikt i Europa i två avseenden; det är den enda organisation som har deltagare från både institut och industri, samtidigt som det är den enda organisation som bedriver flygteknisk forskning både avseende civila och militära applikationer. Genom GARTEUR kunde nu FFA och Saab delta i olika arbetsgrupper (Groups of Responsables) inom Aerodynamik, Struktur/Material och Flygmekanik/Systemintegration. I dessa grupper diskuteras behov och formeras förslag till gemensamma projekt. FoT-projekt inom GARTEUR är typiskt små, bottom-up och teknikstyrda samt långsiktiga. För GARTEUR-projekt svarar varje deltagare för sin egen finansiering. Under 90-talet blev det ofta en växelverkan mellan GARTEUR- och EU-projekt genom att GARTEUR-projekt omvandlades till EU-projekt när det passade in i de ramar som gällde i respektive Call. Om man inte lyckades få till gemensam finansiering via EU blev det ett nytt GARTEUR-projekt.

ASD (AeroSpace and Defence industry association)

Sverige och Saab har sedan starten på 1960-talet deltagit i flygindustrins samarbets-organisationer. ASD, AeroSpace and Defence industry (www.asd-europe.org) association bildades 2004 som en sammanslagning av de tidigare organisationerna inom både flyg och rymd AECMA, European Aerospace Industry Association och EDIG, European Defence Industry Group och EUROSPACE, Association of European Space Industry. ASD arbetar bla för flygindustrins forskning och verkar för samordning och är aktiv för den flygtekniska forskningen inom EU.

Industrigruppen *Euromart* (European cooperative measures for aeronautical research and technology), där Saab ingick, bildades 1988 och utarbetade industrins förslag till gemensam EU-forskning. Senare har industrins samverkan kring EU-programmen skett inom IMG4 (*Industry Management Groups för olika industri-segment*).

EREA (Association of European Research Establishments in Aeronautics)

EREA-samarbetet (www.erea.org) mellan de europeiska flygforskningsinstituterna, där FOI (FFA) varit med sedan starten 1994, begränsades inledningsvis till civil och dual-use flygteknik men har senare utvidgats till att omfatta samverkan inom flygteknikområdet i sin helhet (civil-, militär samt rymdrelaterad flygteknik). Målsättningen är att stärka teknologibasen för den europeiska flygindustrin och på ett effektivt sätt gemensamt förse flygindustrier och andra intressenter med teknologi. Från början fanns en ambition till integration och ömsesidiga beroenden inom flygtekniska discipliner och beträffande provningsanläggningar men detta har inte genomförts i någon större utsträckning.

NATO-paneler

Sverige hade tidigare genom personliga inbjudningar fått delta i NATO/AGARDS kvalificerade forskningspaneler, som exemplifieras ovan. Genom bildandet av NATOs Partnership for Peace 1994 blev det nu formellt möjligt att delta i konferenser och forskningsprojekt via olika s.k. paneler inom NATOs Science and Technology Organization. AGARD Fluid Dynamics Panel blev nu Applied Vehicle Technology (AVT) och Sverige blev formellt medlem i denna och andra paneler som Modelling and Simulation Group. (Kommentar: Detta var nog ett tveksamt framsteg. Tidigare hade svenska deltagare inbjudits till mera slutna sammanhang. Nu hamnade vi formellt i samma gruppering som t.ex. Azerbadjan.)

2000-talet Demonstratorernas årtionde
En ny generation av Gripen börjar studeras. Gripen börjar exporteras. Obemannat flyg och AI tar fart. Europeiskt forskningssamarbete intensifieras med bl.a. demonstratorprojekt. Svenska civila demoprogram kopplar till de europeiska.

Under 2000-talet fortsatte utveckling och produktion av Saab 39 Gripen C/D. Exportavtal med Sydafrika tecknades 1999 och leveranser av 39 C/D påbörjas 2008. Leasingavtal tecknas med Ungern 2003 och med Tjeckien 2004. 2007 tecknas exportavtal med Thailand.

Inriktningen på 2000-talet präglades mycket av en ny generation av Gripen och utvecklingen av Gripen Demo som lanserades av Saab i juni 2007 och som genomförde första flygning i maj 2008.

Neuron, Unmanned combat air vehicle, var ett teknikutvecklingsprojekt sammanhållet av Frankrike där Sverige deltog. Mera om projektet nedan.

Saab Aerostructures, som bildades 2003 utvecklade affärerna inom civilt flyg för både utveckling och produktion. Det blev nya program som underleverantör till Airbus och Boeing. I Saab-minnen 30/7 ger S-G Eriksson en utmärkt beskrivning av utvecklingen och projekten inom Aerostructures från 1997 till 2019. Saab deltar i EUs stora forskningsprogram Clean Sky och SESAR.

Exempel på teknikutveckling och forskning

Gripen Demo, Gripen D med ny starkare motor, användes som demonstrator för att utvärdera ny teknik för ny generation av Gripen, Gripen NG eller blivande Gripen E/F, men också för framtida uppdateringar av Gripen C/D. 2003 började man studera ny systemarkitektur för avioniksystemet, för effektivare systemuppdateringar och ökad säkerhet. Erfarenheter byggdes successivt upp genom markdemonstrationer och vissa delar användes i Neuron och Skeldar, referens A Pettersson, Saab. Mer om detta under 2010-talet.

Autonoma system med obemannade flygplan och helikoptrar studeras. Ganska omfattande forskning och studier hur bemannat och obemannat flyg ska kunna flyga i gemensamt luftrum påbörjas i EU-projekt, där Saab blir koordinator och fortsätter under 10-talet.

Saabs exportsatsningar innebar också att möjliga teknik- och forskningssamarbeten med kundlandet utvärderades. Här skedde omfattande studier inom många teknikområden, i samarbete med universitet och forskningsinstitut. På så sätt utvecklas omfattande nätverk av kontakter som kan bli viktiga för framtida samarbeten mellan forskningsorganisationer i många länder. Ett framgångsrikt exempel är samarbeten med Brasilien

som började ta form i slutet av 00-talet. Mer om det i avsnitt 10-talet.

FoT-program och samarbeten

Ett samlat avsnitt om NFFP och andra för flygindustrin relevanta forskningsprogram från 90-talet och framåt kommer senare i texten.

Obemannade farkoster SHARC, FILUR, nEUROn och MIDCAS

Obemannat flyg började studeras under slutet av 90-talet med två inhemska demonstratorprojekt. Utvecklingen av SHARC, Swedish Highly Advanced Research Configuration, startade 1998 inom NFFP och den flög 2002. FILUR, Flying Innovative Low-observable Unmanned Research vehicle, finansierad av FMV var avsett att studera smygteknologi/-egenskaper. FILUR flög 2005.



Till vänster SHARC till höger FILUR.

nEUROn

Neuron, var ett teknikstudieprojekt för utveckling och tillverkning av ett obemannat stridsflygplan med smygegenskaper som Sverige och Saab deltog i med start 2003. Projektet leddes av Frankrike och Dassault Aviation och Saab var med i utformandet och ledningen av projektet. Andra deltagare var Italien (Alenia-Aermacchi), Schweiz (RUAG), Spanien (EADS-CASA) och Grekland (HAI).

Neuron flög första gången 2012. Förutom i Frankrike genomfördes testflygningar i Vidsel. Syftet med programmet var att utvärdera framtida avancerad avionik, autonomi, smygteknik i nätverksbaserat försvar. Saab fokuserade på övergripande konstruktion, avioniksystem, autonomi,

struktur och tillverkning, flygvärdighet och mark och flygprov. Neuron-projektet belönades med ICAS von Karman Award 2014.



MIDCAS (Mid-air Collision Avoidance System)
MIDCAS-projektet, med start 2009, genomfördes gemensamt av Sverige, Frankrike, Tyskland, Italien och Spanien av ett konsortium med tio partner, med Saab som projektledare. Sameuropeiska myndigheter som EASA och Eurocontrol deltog också. Metoder för collision avoidance (D&A – Detect & Avoid) studerades och demonstrerades. Hur kan bemannat och obemannat flyg flyga säkert i ett gemensamt luftrum? Som en komplettering genomfördes också ett nationellt projekt inom SWE-Demo där tekniken demonstrerades med den obemannade helikoptern Skeldar. Referens G Holmberg och J Pellebergs, Saab.

Svenskt deltagande i europeisk försvarsforskning

Under 2000-talet blev det möjligt för Sverige att delta i europeiska samarbeten också inom försvarsforskning. Ett första exempel var sexnationsinitiativet 1998 mellan Frankrike, Tyskland, Italien, Spanien, Sverige och Storbritannien med ett Letter of Intent (LOI) som syftar till att "establish a co-operative framework to facilitate the restructuring of European defence industry". Det kan noteras att detta initiativ var mellan nationer med gedigen kunskap inom militär flygteknik, vilket innebär en gemensam potential att ta initiativ när det gäller teknik för framtida militära flygplan.

European Technology Acquisition Programme (ETAP)

Som en följd av LOI-avtalet inrättades 2001 European Technology Acquisition Programme (ETAP) för att stödja den gemensamma utvecklingen av Future Combat Air Systems (FCAS). ETAP-avtalet omfattar både teknikutvecklingsprogram och

teknikdemonstration och i ett första steg genomfördes en flerårig "Global System Study" med målet att definiera kritiska teknologier för FCAS. Saab deltog aktivt i denna studie.

European Defence Agency (EDA)

Europeiska försvarsbyrån (EDA) inrättades 2004 inom ramen för EU-samarbetet för att stödja medlemsstaterna i deras strävan att förstärka europeisk försvarskapacitet. EDA består av 27 deltagande medlemsstater (alla EU-medlemsstater utom Danmark). EDA tar fram strategier för försvarsteknologin och den industriella basen i Europa. EDA har ett antal CapTech med teknisk verksamhet. Saab, FMV och FOI deltar inom CapTech "Air Systems and their Environment". En studie "FAS4Europe - Future Air Systems for Europe", där Saab, genom Katarina Björklund, hade en ledande roll, genomfördes runt 2010 och påvisade behovet av gemensamma europeiska forsknings- och teknologisatsningar för kommande generationer av FCAS.

Air4All var en EDA studie som startade 2008. Studien genomfördes av ett konsortium av europeiska försvars- och flygföretag. Saab hade en ledande roll som koordinator. Man tog där fram en detaljerad "roadmap" för hur man kan integrera obemannat flyg i europeiskt luftrum.

Inom ramen för EDA-samarbetet har Sverige och Saab deltagit i olika samarbetsprojekt: MIDCAS (Mid-air Collision Avoidance System), som beskrivits ovan och ERA (Enhanced RPAS Autonomy).

European Defence Fund (EDF)

För att finansiera gemensam försvarsforskning via EU-systemet har European Defence Fund (EDF) etablerats inom ramen för EU-samarbetet. EDF består av två delar: en forskningsdel EDRP (European Defence Research Program) och en förmågedel EDIDP (European Defence Industrial Development Programme). EDF kommer att vara en del av EU:s kommande långtidsbudget 2021-27 men en pilotfas PADR (Preparatory Action on Defence Research) har genomförts 2017-2020. Forskningsprogrammen inom EDF kommer inte att ingå i Horizon Europe utan kommer att ha separat budget. Sverige och Saab har deltagit i pilotfasen av PADR men inte i något flygrelaterat. Saab har deltagit i OCEAN 2020 (naval), GOSSRA (Open Soldier) och FOI i ett kamouflageprojekt.

EDF kommer att påverka svensk flygforskning och teknikutveckling och det är viktigt att svenska aktörer positionerar och koordinerar sig för denna nya satsning. När denna uppsats skrivs finns sedan något år två konkurrerande FCAS-projekt i Europa; det fransk-tyska FCAS där Spanien gått in som tredje part och brittiska Tempest, där Italien gått med som partner. Sverige har tecknat ett samverkansavtal med Storbritannien avseende teknologiutveckling för Gripen-systemet respektive Tempest. Saab meddelade 2020-07-20 att man satsar 50 miljoner pund och öppnar ett centrum för teknikutveckling för framtida stridsflygplansförmåga i Storbritannien. Saab planerar att där ta fram teknik som kan användas för Gripen E och för framtida efterföljare.

ACARE, Clean Sky och svenska demoprogram

Under de första åren på 2000-talet togs flera nya steg i anslutning till den forskning som bedrivs gemensamt inom EU:s ramprogram genom bildandet av ACARE och etableringen av Clean Sky-programmet.

ACARE (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe)

Bildades 2001 och är en rådgivande grupp med medlemmar från alla delar av den europeiska flygsektorn: EC, medlemsländer, flygplatser, flygbolag, akademi samt industri. Med jämna mellanrum tar ACARE fram visionsskrifter samt en strategisk agenda (SRIA) för Europas flygtekniska forsknings- och innovationsverksamhet.

Visionsdokumentet ***”European Aeronautics: A vision for 2020”***, referens 31, från EU-kommissionen 2001 och uppföljningen med strategiska forskningsagendor (2002 och 2004 - referens 32 och 33) blev grundstenar för att styra och fokusera europeiska forskningsprogram och samverkan för civil luftfart. Vidare har under de senaste åren nationella agendor och plattformar anpassade till de gemensamma europeiska utvecklats i flera medlemsstater (som NRA i Sverige).

Ett nytt visionsdokument, *Flightpath 2050 – Europe’s Vision for Aviation*, referens 34, presenterades på Aerodays 2011 i Madrid. Under 2012 publicerades uppföljningen med en ny strategisk forsknings- och innovationsagenda (SRIA - referens 35). Svenska aktörer har aktivt deltagit i arbetet med agendorna via IMG4 (Saab/GKN) och EREA (FFA/FOI). Innovairs Programdirektör är svensk representant i ACARE Council.

TRL-nivåer och demonstratorer

Genom åren har man också inom forskningen blivit alltmer systematisk i definitionen av teknologiernas mognadsgrad för införande i flygplan. På 2000-talet, i samband med EUs forskningsprogram började begreppet Technology Readiness Level, TRL (efter förebild från NASA) att användas. Där definieras mognadsgraden allt ifrån grundläggande forskning över tillämpad forskning till en verifierad mognadsgrad för införande i flygplan och operativ drift.

Modellen har också fått en viktig koppling till handelsavtal och internationell konkurrens. Forskning/teknikutveckling på hög mognadsgrad TRL 7-9 får inte vara statligt stödd. Då anses man bryta mot konkurrenslagarna.



Samlingsbegreppet *forskning och innovation* blev vanligt runt 2010 för att beteckna hela kedjan från grundläggande forskning till färdig produkt. Detta avspeglas i att den första agenda från ACARE hette SRA (2002) och nästa SRIA (2012). Detta gällde också för de svenska agendorna NRA (2010) och NRA (2013 och senare).

Demonstratorer inom området civila flygplan och flygmotorer utvecklas i stor utsträckning inom det europeiska demonstratorprogrammet Clean Sky som startades i sin första etapp 2008 inom EU:s sjunde ramprogram. Det har senare följts av Clean Sky2 2014-2021. Clean Sky är ett partnerskap mellan EU och industrin. Det karakteriseras av stora sammanhängande delprogram, men inom varje delprogram sker regelbun-

det utlysningar av mindre projekt. Ett annat stort EU-program, där Saab har deltagit, är SESAR (Single European Sky ATM Research) som startade 2007 (mera nedan).

Clean Sky

Inom de europeiska ramprogrammen för forskning (FP6 2002-2006, FP7 2007-2013 och Horisont 2020 (2014-2020)) har flygforskningen strukturerats via dessa agendor. Under det sjunde ramprogrammet skapades Clean Sky (2008-2016) och detta har under det senaste ramprogrammet Horisont 2020 fortsatt som Clean Sky 2 (2014-2021). För nästa ramprogramperiod 2021-2027, som kallas Horizon Europe, har flygbranschens aktörer utarbetat programmet Clean Aviation.

Clean Sky är ett partnerskap - Joint Technology Initiative (JTI) - mellan EU och industrin. Det karakteriseras av stora sammanhängande delprogram, men inom varje delprogram sker regelbundet utlysningar av mindre projekt. Inom stora demonstratorprojekt valideras teknologi till hög TRL-nivå (TRL 6). Demonstratorer för bland annat flygplansstrukturer och system samt motorer genomförs. Saab och GKN är strategiska partner i Clean Sky. Den totala budgeten för Clean Sky 1 var 1,6 miljarder Euro, varav hälften från EU. En del av budgeten i Clean Sky fördelades via öppna utlysningar. Strategiska partner som Saab och GKN formulerar ämnen som utlyses. Utvärdering av ansökningarna görs sedan av grupper om tre oberoende experter för varje ämne. Via dessa utlysningar har flera svenska U/H/I och SMF kommit med i projekt inom Clean Sky.

Clean Sky programmet var organiserat kring ett antal teknologiplattformar:

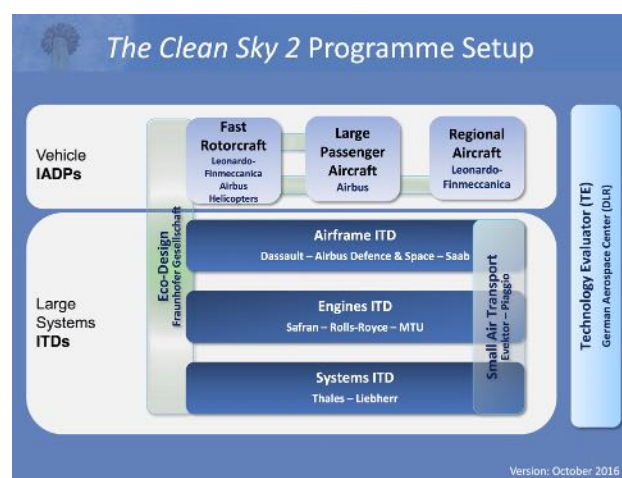
- Smart Fixed Wing Aircraft (Airbus and Saab).
- Green Regional Aircraft (Alenia and EADS-CASA).
- Green Rotorcraft (Eurocopter and AgustaWestland).
- Sustainable and Green Engines (Rolls-Royce and Safran).
- Systems for Green Operations.
- Eco-Design (Dassault and Fraunhofer).

Clean Sky 2 startade i slutet av 2014 och skall pågå till 2024 med en budget på totalt 4 miljarder EUR (www.cleansky.eu). Inom Clean Sky 2 kommer

ännu större integrerade plattformar att demonstreras men också flera mindre demonstratorer av samma typ som i Clean Sky 1. Inom ramen för Clean Sky 2 har samarbetsavtal tecknats med två svenska regioner, Region Östergötland och Region Västra Götaland. På så sätt kan flygbranschen få del av de regionala medel som kommer från EU via Tillväxtverket (TVV).

Inom Clean Sky 2 finns tre ”Large Systems ITD:s”. Se figuren nedan.

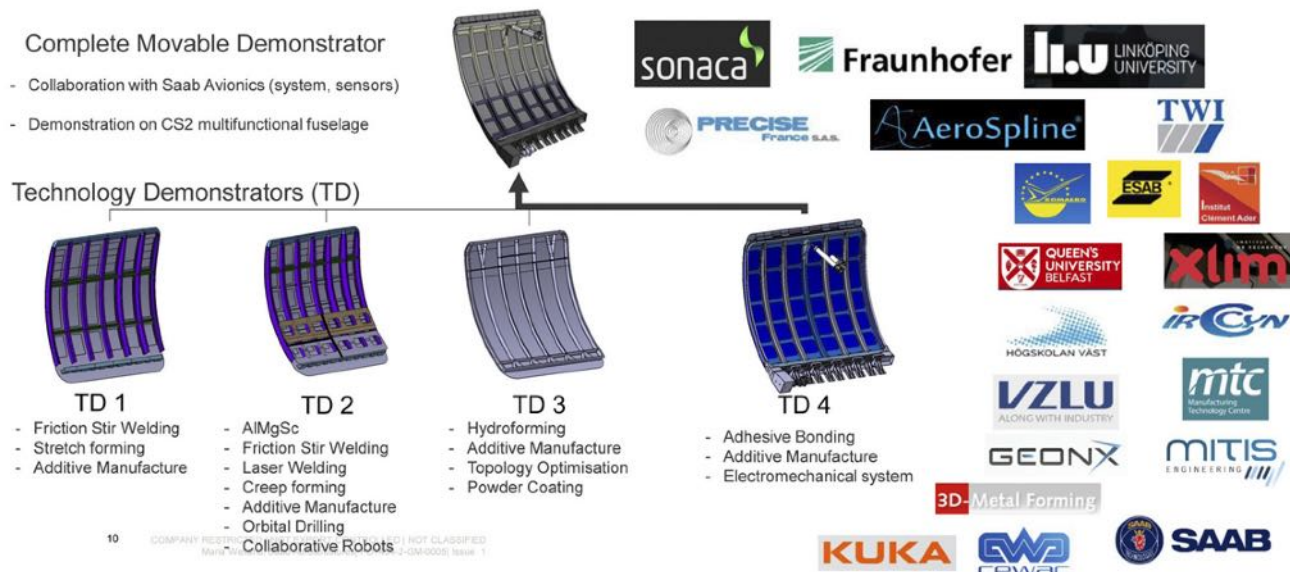
- Airframe ITD (Dassault – Airbus Defence & Space - Saab).
- Engines ITD (Safran - Rolls Royce MTU).
- Systems ITD (Thales - Liebherr).



Saab har deltagit inom både Clean Sky och Clean Sky 2 i många projekt avseende skrov och system för stora passagerarflygplan, där omfattande demonstratorer också utvecklats.

- Smart Fixed Wing Aircraft (se nedan om fullskaledemonstratorn BLADE).
- Lastrumsluckor i lättviktsstruktur inkl. system för integration i Airbus skrovdemo.
- Enhanced Flight Vision Systems för Regional Cockpit demonstrator.
- Elektriskt drivna höglyftsystem.
- Flaperons till Airbus framtida vinge.
- Med mera.

Det mest spektakulära projektet är *BLADE* (*Breakthrough Laminar Aircraft Demonstrator in Europe*), där Saab har utvecklat en laminärströmningsvinge i kolfiberkomposit. Vingdelen – skal/yta, balkar, spryglar och förstävningar – är tillverkad och härdad i ett enda skott till en helt



integrerad vingstruktur. Saabs laminärvinge har 2017-2018 flygprovats på en Airbus 340 där vänstra yttervingen (9 m) har ersatts med Saabs laminärvingdel. På andra yttervingen fanns en laminärvingdel tillverkad av GKN UK med vingskalet i kolfiberkomposit och med metallframkant. Enligt Airbus är Saabs vingdel den mest avancerade vingstruktur som har byggts.



Flygprov med Saabs laminärvinge på Airbus A340.

SESAR

SESAR-programmet (Single European Sky ATM Research) är ett av EU:s större forsknings- och utvecklingsprogram. SESAR är liksom Clean Sky ett partnerskap - Joint Technology Initiative (JTI) - mellan EU och industrin. SESARs uppdrag är att utveckla ett moderniserat flygtrafiklednings-system för Europa.

SESAR är utvecklingsdelen av Single European Sky (SES) vars primära mål är att möta kraven på ökad kapacitet, minskad miljöpåverkan, kostnadsreduktion med mera.

SESAR är inriktat på validering av koncept, procedurer och teknik. Från Sverige deltar Saab, LFV, Swedavia, SAS, Malmö Aviation, NOVAIR, Försvarsmakten samt några SME där LFV och Saab är de större aktörerna via konsortierna NORACON respektive NATMIG. Saabs satsningar på Remote Tower är ett led i detta.

Ett annat SESAR-projekt där Saab deltar är RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) integration – detect and avoid.

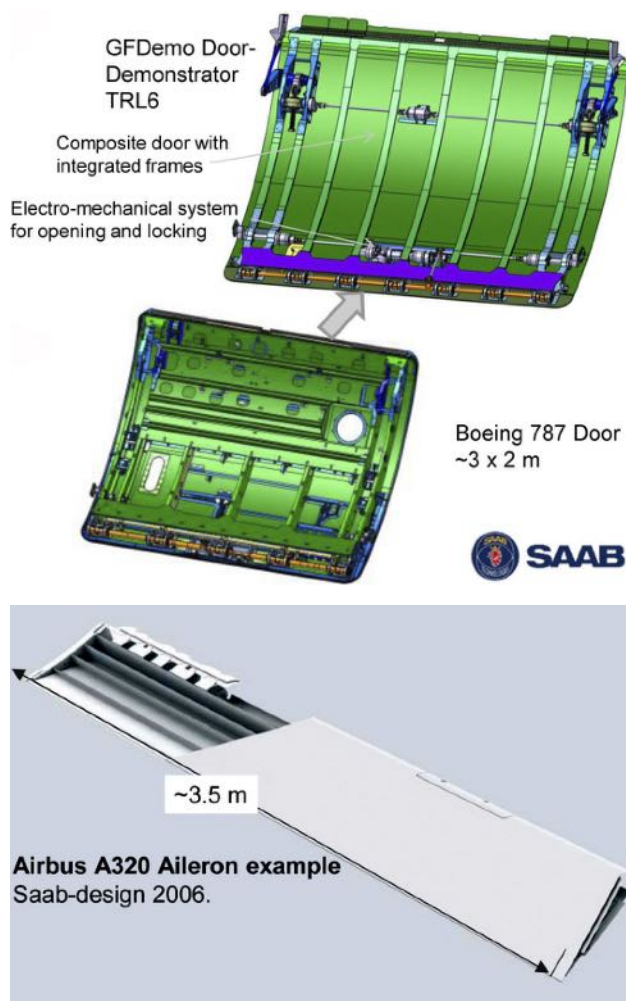
Saab har tillsammans med LFV bildat bolaget ”Saab Digital Air Traffic Solutions” och Remote Towers har sålts och installerats på flera ställen i Sverige och utlandet.

Svenska civila demoprogram kopplar till de europeiska

För att stärka svensk industris möjligheter att delta i de europeiska demoprogrammen har flera nationella demoprogram genomförts med statlig finansiering från Vinnova: *FLUD – Flygtekniskt utvecklings & demonstrationsprogram* (2006–2010); *GF Demo – Grönt Flyg Demo* (2012-2015); *SWE Demo* (2016-2019).

Inom varje program har Saab respektive GKN Aerospace genomfört forskningsaktiviteter som stärkt företagens deltagande i Clean Sky. Saab och

GKN har också agerat motor för och dragit med sig små och medelstora företag in i både programmens projekt men även vidare in i de internationella demoprogrammen. Två exempel på projekt (lastdörr och skevroder) i bilderna nedan.



I nästa demonstratorprogram, *INT Demo*, för åren 2020-2023, tas det kompletterande steget att också strukturera internationell samverkan inom demonstratorområdet, dels genom fortsatt deltagande i europeiska program, som exempelvis det förväntade Clean Aviation, men också genom strategiskt bilateralt samarbete med utvalda länder.

Forskningsprogram & utbildning under de senaste decennierna

NFFP och andra för flygindustrin relevanta forskningsprogram under tre decennier sammanfattas i detta avsnitt. Flygteknisk utbildning och forskning vid LiU utvidgas - forskarsamarbeten med Saab adjungerade professorer. Saab startar Specialistprogram och Industridoktorandprogram och utökar samarbetet med universiteten.

NFFP - Nationellt Flygtekniskt Forskningsprogram

Som nämnts tidigare i uppsatsen startade NFFP med en första etapp åren 1994-98. Administrationen av NFFP hanterades till en början av FMV och därefter av Vinnova. Sedan Innovair etablerades 2014 ingår NFFP som en del av Innovairs verksamhet.

Målsättningen med NFFP, som en del av den flygtekniska forskningen inom landet, är att:

- Stärka den svenska flygindustrins konkurrensförmåga.
- Stärka landets förmåga att medverka i och dra nytta av internationellt forsknings-, teknologi- och utvecklingssamarbete.
- Stödja Försvarsmaktens operativa förmåga, genom kompetens att vidmakthålla och utveckla system.

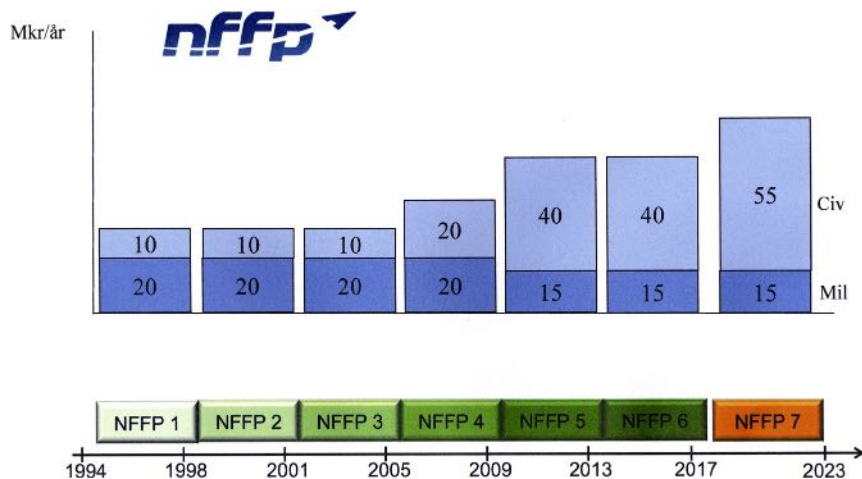
NFFP omfattar flygteknisk forskning av såväl civilt som militärt intresse och har också till syfte att vidareutveckla forskningsresurserna inom landet vid industri, forskningsinstitut, universitet och högskolor samt att samordna utnyttjandet av dessa resurser.

NFFP har fortsatt med flera nya etapper NFFP3-NFFP7 under de senaste decennierna. Den statliga finansieringen var inledningsvis 30 Mkr/år (2/3 militär och 1/3 civil). Över åren har fördelningen civil/militär finansiering varierat. För den senaste etappen NFFP7 (2018-2022) är den statliga finansieringen 70 Mkr/år (55 via Näringsdepartementet och 15 via Försvarsdepartementet).

Summerat över alla sju NFFP-etapperna har den statliga satsningen varit 1 250 MSEK, vilket tillsammans med industrins egensatsning blir totalt 2 500 MSEK.

NFFP har i flera utvärderingar, referens 37 (2004), 38 (2008) och 39 (2018) ansetts som ett mycket lyckat forskningsprogram och framgångsfaktorerna har sammanfattats i följande punkter:

- Programmet utgår från ett avtal mellan staten och företagen.
- Projekten ska bedrivas i samverkan mellan företag och universitet/högskola/institut.
- Projekten leds av företagen för att tydligt sätta behovsbilden.



- Universitet/högskola/institut är mottagare av de offentliga medlen, där undantag kan göras för industridoktorander.
- NFFP ska sammanlagt vara till nytta i både civila och militära applikationer.
- Minst 50 procent av finansieringen består av företagens egensatsning.

- En del av budgeten reserveras för deltagande från SMF.

Enligt den senaste utvärderingen har minst 136 doktorer (del)finansierats genom någon av programmets sex första etapper. Uppskattningsvis är nio av tio av dem idag verksamma i Sverige och ungefär hälften är anställda i svenska företag.

Bland deltagande högskolor dominerar Chalmers, LiU, KTH och LTU.

Prioriterade forskningsområden har varierat mellan de olika etapperna. För den senaste etappen NFFP7 gäller i figuren nedan prioriterade forskningsområden.

Av den totala statliga satsningen inom NFFP7 (5×70 MSEK) har ca 75 procent fördelats till de projekt som beslutats i två utlysningar 2017 och 2019. Resterande medel används särskilda SMF-utlysningar och till bilaterala samarbetsprojekt med Brasilien, Storbritannien och Tyskland.

Som ett resultat av NFFP7-utlysningarna genomför Saab 34 olika projekt, finansierade från med 129 MSEK från NFFP och Saabs egensatsning 131 MSEK. De flesta projekt berör



Prioriterade forskningsområden i NFFP7

Helhetsförmåga och konceptstudier

- Effektiva former för nya produktions-, produktutvecklings- och teknologiutvecklingssamarbeten, nationellt och internationellt
- Förmåga till snabb realisering av delskal- och delsystemdemonstratorer för kompetens- och organisationsutveckling
- Helhetsförmåga, anpassningsförmåga till förändrad kravbild, konceptstudier, modellbaserad integrerad utveckling av produkter och produktionssystem
- Integrerade struktur- och systemlösningar för flygplan/-motorer
- Koncept och systemlösningar för obemannade flygsystem inkl samverkan med bemannade system
- Signaturanpassning och störning för att möta sensorer med bredare spektra
- Simuleringsteknik för rationell konstruktion och produktion
- Effektivare produktions-, reparations- och inspektionsmetoder

Intelligenta system i flygplan och på marken

- Intelligenta/autonoma system, AI tillämpningar
- Autonomi, planering, samverkan mellan flygplan och obemannade farkoster
- HFI (Human Factors Integration) och beslutsstöd för operatörer i komplexa scenarier
- Ökade kommunikationsprestanda
- Vidareutvecklade, nya och fler sensorer, särskilt bildalstrande, distribuerade samt konforma antenner
- Integrerade utbildningsfunktioner – flygplan och simulatorer (LVC)
- Produktstöd, diagnostik och prognostik i system, struktur och motorer (inklusive Digital Twin tillämpningar)
- System för livslängduppföljning och underhållsoptimering för flygplan och motorer

Framdrivning

- Integrerade motormoduler till exempel fläkt, höghastighetskompressor och turbinutlopp
- Ny motorarkitektur till exempel Open Rotor, Ultra High Bypass Ratio, distribuerad framdrivning och elektrisk framdrivning.
- Funktionella motormoduler, exempelvis teknologi för lägre bränsleförbrukning, kraftförsörjning, bullerreduktion med mera.

Integrerad struktur

- Högt integrerad komposit- och metallstruktur
- Snabb och kostnadseffektiv utveckling och tillverkning
- Nya funktionella material t ex. för lågsignatur, ökad styvhet och integration av antenner och sensorer
- Effektiva produktionsmetoder och produktionssystem för låg och medelvolymstillverkning inom flygindustrin, exempelvis additiv tillverkning

Grundläggande flygteknik

- Flygmekanik och laster på flygplan/-motorer
- Aerodynamik, aeromekanik, aeroakustik och hållfasthet
- Systemintegration och -teknik, speciellt med avseende på styrning/optimering av energihantering på farkostnivå, inklusive MEA
- Process- och utvecklingsmetodik för säkerhetskritiska produkter – prestanda, återanvändning, IT-säkerhet, beslutsstöd, automatisering, visualisering, cyber security

bara en högskola men några projekt har deltagare från flera högskolor. Hur olika universitet och högskolor är involverade framgår av följande sammanställning:

- LiU – 17 projekt, 61 MSEK (7 inddok, 6 gränsångare).
- Chalmers – 8 projekt, 29 MSEK (1 inddok, 2 gränsångare).
- KTH – 6 projekt, 15 MSEK (1 inddok, 1 gränsångare).
- LTU – 3 projekt, 8 MSEK
- Övriga deltagare (MDH, BTH, LTU, FHS, RISE, FOI) – 16 MSEK.

Exempel på gränsångare som delar sin tid mellan Saab och UoH:

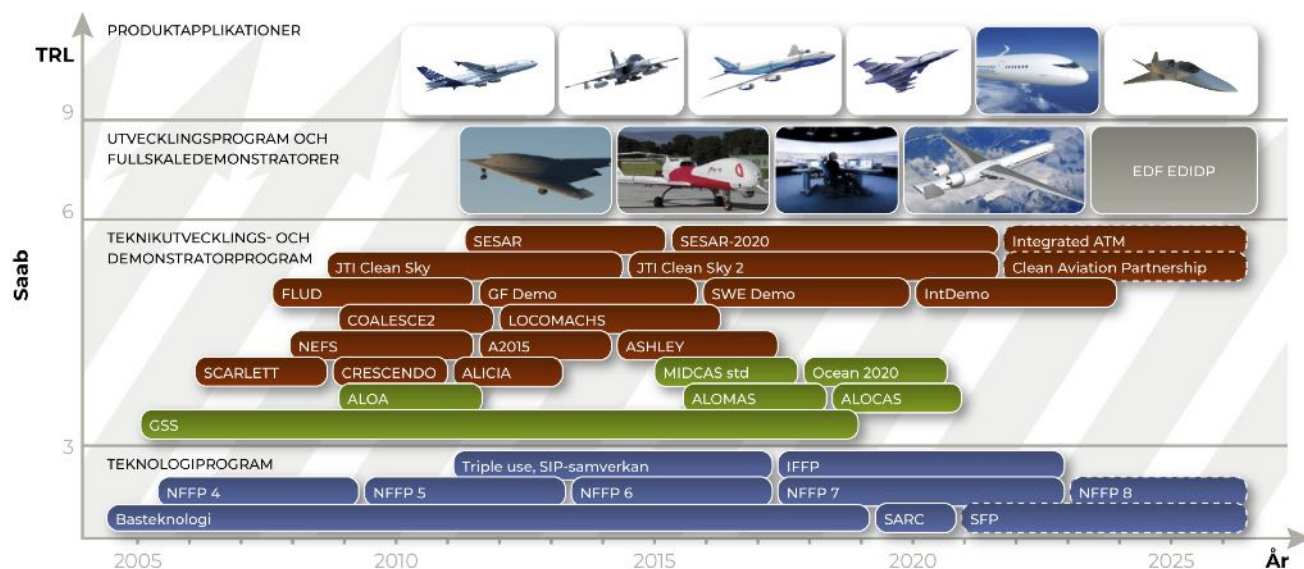
- LiU: Christopher Jouannet, Kristian Amadori, Jens Alfredsson och Ingemar Söderqvist.
- Chalmers: Sebastian Arvidsson, Kristian Lundberg.
- Lund: Torleif Martin.
- Luleå: Olov Candell.

Flera av dessa är klusterledare inom sina områden. Mera om kompetenskluster och klusterledare i ett senare avsnitt.

Andra nationella forskningsprogram av stort värde för flygteknisk utveckling. Nya forskningsområden växer fram²

I takt med att nya teknologier växte fram och blev intressanta och viktiga för flygområdet kom flygindustrin, främst Saab och GKN att engagera sig i forskning och utbildning inom dessa områden. Det gällde både teknologier för användning i flygplan men också nya metoder, verktyg och processer. Många program startade under 90-talet och har fått efterföljare under senare decennier. Några exempel:

- *WITAS* programmet, Wallenberg Laboratory for Information Technology and Autonomous Systems på LiU 1996-2004. Detta var ett av de första större forskningsprogrammen inom autonoma system och artificiell intelligens. Medförfattaren, BF Saab, deltog i programmets styrelse. Här utvecklades bl.a. autonoma system för flygande farkoster med en helikopter som demonstratorplattform.
- *ISIS*, Kompetenscentrum, Industriella Styr- och InformationsSystem, med finansiering från Närings- och teknikutvecklingsverket, NUTEK, nuvarande VINNOVA, mellan 1995 och 2007. Bl.a. deltog Saab, Ericsson och ABB. Ulf Rehme, Saab var styrelsens ordförande i början av programmet. Industriadoktorander från företagen deltog också.



Figuren ovan, hämtad från NRIA Flyg 2020, illustrerar hur teknologiprogram på låga TRL-nivå (t.ex. NFFP) hänger samman med teknikutvecklings- och demonstratorprojekt (t.ex. inom Clean Sky) på vägen mot utvecklingsprogram och färdiga produkter.

2. SSF och två andra forskningsstiftelser (Mistra och KK stiftelsen) blev slutresultatet av alla de diskussioner som hade pågått sedan Rudolf Meidner 1975 lade fram sitt förslag om löntagarfonderna. SSFs övergripande mål är att finansiera forskning som bidrar till utveckling av svensk industris konkurrenskraft. SSF är idag en av de största finansörerna av svensk teknisk forskning.

Forskningsprogram finansierade av SSF, Stiftelsen för Strategisk Forskning där Saab och GKN/Volvo Aero har deltagit i stor omfattning startade 1995/1996. Programmen har haft stor betydelse inom utvecklings- och produktionsmetoder och förändring av utvecklings- och produktionsprocesserna, som nämns tidigare. Den kanske största långsiktiga effekten har forskningsprogrammen haft genom att de förnyat innehållet i civilingenjörsutbildningarna på landets högskolor. Några viktiga SSF-program:

- *ENDREA*, Engineering Design Research and Education Agenda var ett forskningsprogram som också innehöll en forskarskola för doktorander finansierat av SSF. Saab tog initiativ till programmet 1995. ENDREA omfattade forskning och forskarutbildning inom områdena teorier och metoder för konstruktion och utveckling, modellbaserade metoder (simulation and digital prototypning) samt ledarskap inom produktutveckling (engineering management). Programmet startade 1995 med en förstudie och pågick t.o.m. 2003. Medförfattaren, BF var ordförande i programmets styrelse.
- *Proper* var ett forskningsprogram inom produktion motsvarande ENDREA också finansierat av SSF.
- *IMIE*, (International Graduate School of Management and Industrial Engineering) var ytterligare ett SSF program där Flygindustrin deltog. IMIE fokuserade på forskning inom ledarskap.
- *ProViking 1* (2003-2008) och *ProViking 2* (2009-2013) blev ENDREAs och Proper efterföljare och omfattade forskning inom både produktutveckling och produktion. Medförfattaren, BF var ordförande i ProViking 1.

Sammantaget var den totala finansieringen i ENDREA och ProViking1 och 2 mer än SEK 1 Mdr där industrin bidrog med ca 50 procent. Mer än 200 tekniska doktorer examinerades vid Chalmers, KTH, Linköpings Universitet och Luleå Tekniska Universitet under de år som programmen pågick. Många av de som deltog finns nu inom industrin, bl.a. flygindustrin. Andra av de som deltog i programmen är nu lärare och

professorer vid universiteten och för in de nya kunskaperna i civilingenjörsutbildningarna på landets högskolor. Ett exempel är Johan Ölvander som doktorerat inom ENDREA och nu är professor på LiU och forskar på att effektivisera produktutvecklingsprocessen. Forskningen är industrinära med applikationer inom bl. a. industrirobotar och flygplan. Ett annat färskt exempel är att Chalmersprofessorn Ola Isaksson, som doktorerat inom ENDREA programmet, nu leder Clean Sky projektet "Digitala konstruktionsmodeller" där GKN är engagerat.

Nya projekt och forskningsprogram inom autonoma system, artificiell intelligens, sensorer, sensorintegration och komplexa system mm har tillkommit under 2000-talet.

- *MOVIII*, MOdelling VIualisation and Information Integration var ett SSF projekt vid LiU som startade 2006 och pågick i 5 år. Huvudsyftet med programmet var att utveckla teorier och metoder för integrerat beslutsstöd i komplexa system. Ett av forskningens fokusområden var obemannade flygande farkoster. Som demonstrator och testplattform användes en Yamaha-helikopter, samma som i WITAS projektet. Medförfattaren BF var ordförande i MOVIII-programmet.
- *LINK-SIC*, Linköping Center for Sensor Informatics and Control, är ett kompetenscentrum vid LiU inom sensorsystem, sensorfusion, signalbehandling, övervakning och diagnostik, modellering samt optimering av styrsystemtillämpningar som startade i en första fas 2008. Programmet finansieras av Vinnova och deltagande företag. LINK-SIC har det långsiktiga syftet att utveckla samarbetet mellan akademi och systembyggande svensk industri, ett typiskt exempel på den svenska Triple Helix modellen som nämndes i inledningen. En ny fas med 21 MSEK/år startade 2017 och pågår till 2022. Deltagande företag är bl.a. ABB, Atlas Copco, Saab Aeronautics och Scania och ett antal små och medelstora företag, bla Saab-delägda UMS Skeldar. Samtliga företag utvecklar produkter där mekanisk och elektronisk hårdvara kombineras med programvara för modellbaserade algoritmer för reg-

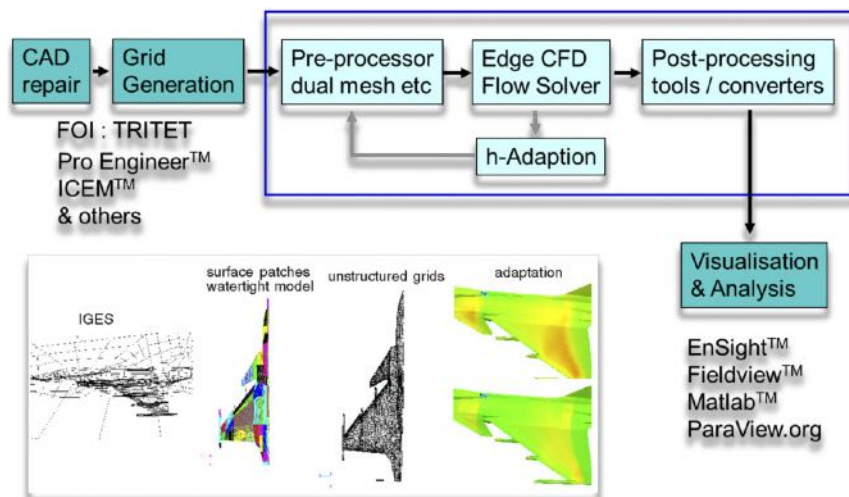
lering och bearbetning och tolkning av sensor-information. Saab deltar i programmet och bidrar med industridoktorander och seniora forskare, Saab är också ordförande i programmets styrelse, genom Gunnar Holmberg.

- *WASP*, Wallenberg AI, Autonomous Systems and Software Program (WASP). Det breda programmet WASP startade 2015 och pågår till 2029. Det är Sveriges hittills största privata forskningsprogram, 4,2 miljarder från Knut och Alice Wallenbergs stiftelse och 1,3 miljarder från industri och universitet. Programmet innefattar också en forskarskola där man har målet att utbilda över 400 tekniska doktorer, därav 200 industridoktorander. Saab är aktiv på många områden och leder bl.a. genom Gunnar Holmberg den mest aktiva Demonstratorarenan, WARA-PS där mer än 10 industridoktorander deltar.

Saab har under många år haft samarbete med Chalmers och professor Jan Torin inom feltoleranta system och datorteknik, gällande främst rymdområdet, men viktigt område också för flyg. Han var initiativtagare till bildandet av Chalmers "Laboratory of Dependable Computing". Saab har där stöttat bildandet av Professuren i Dependable Real-Time Systems. Jan Torin är nu pensionerad professor emeritus och en flitig skribent i Saab-minnen, se Saab-minnen 27/1, 27/10, 28/7, 29/7 och 30/4.

Två exempel på modern beräkningsteknik inom aerodynamik och struktur

EDGE-koden för aerodynamiska beräkningar utvecklades under många år på FFA/FOI och KTH i nära samarbete med Saab och har blivit standardverktyget för aerodynamisk analys och design på Saab. I samband med neddragningar av finansieringen till FOI omkring 2015/16 utvecklades denna verksamhet vid FOI och utvecklingsansvaret för EDGE flyttades över till Saab. Några nyckelpersoner flyttade med till Saab (Peter Eliasson och Stefan Wallin). Fortsatt utveckling av EDGE-koden sker bl.a. inom NFFP7-projektet CIAO där Saab samarbetar med KTH och Chalmers. Sebastian Arvidsons presentation kring denna programutveckling vid FT2019 kongressen finns tillgänglig på FTF:s hemsida via länk 2.



Ett annat exempel på modern avancerad beräkningsteknik av världsklass är den utveckling av adaptiv FEM-teknik för modellering av spricktillväxt som utvecklades av Börje Andersson på FFA/FOI. I ett samarbetsprojekt med US Air Force under åren 2002-2009, med flygplan C5 och C17 som tillämpningsobjekt, hade

han tillgång till USAF största datorsystem (14000 CPU:er, 50 TFlops, 20 TB minne). Börje Anderssons presentation av projektet vid FT2016 kongressen finns tillgänglig FTF:s hemsida via länk 3.

Utbildning

Utbildningen vid LiU, som startade 1995, hade utvecklats positivt och 2010 startade Masterprogrammet Aeronautical Engineering med ca 30 elever/år. Programmet har en helhets-syn på flygplan som ett komplext system och det har ett projektinriktat upplägg där teknologerna får konstruera, rita, bygga och flyga en flygande farkost. Ett intressant exempel på doktorandprojekt är en studie av framtida stridsflygplan, finansierat av FMV och Saab, General Future Fighter, GFF, som utvecklades, byggdes och flögs. Se bilden på nästa sida.

KTH:s program för Masterutbildning i "Aerospace Engineering" har fyra valbara inriktningar: Aeronautics, Space, Lightweight Structures och Systems Engineering.

Astronauten Christer Fuglesang, som på deltid också är knuten till Saab, är programansvarig på KTH.



Modell av LiTH-flygplanet GFF. En video från första flygningen finns via länk 4.

Chalmers har ingen uttalad flyginriktning men är den högskola som har störst andel i den senaste omgången av NFFP. Detta förklaras av att GKN traditionellt har ett omfattande samarbete med Chalmers relaterat till flygmotorteknik (nästan 50 procent av GKNs projekt inom NFFP7). Via Saab Surveillance har Saab inom NFFP7 ett utökat samarbete med Chalmers med flera projekt inom radarteknologi och sensorer. Som nämnts ovan finns också ett par ”gränsgångare” kopplade till Chalmers; Sebastian Arvidsson (CFD) och Kristian Lundberg (Underhållsteknik).

Utbildning är grunden för forskningen och behöver utformas för att långsiktigt säkerställa rätt kompetens inom flygsektorn. Återmatning från forskningen är därför viktig för att förnya utbildningen, på lång sikt. Se exempel från tidigare forskarskolor, dvs. ENDREA, ProViking, och nuvarande WASP m.fl. som nämns ovan.

Industridoktorander, specialister och adjungerade professorer

I slutet på 1990-talet startade Saab ett industridoktorandprogram, ett internt nätverk av Saabingenjörer som deltog i forskningsprogram viktiga för Saab. Saab startade också ett ”Specialistprogram” för erfarna ingenjörer med expertkunskaper och som var auktoriteter inom viktiga områden. Specialisterna är ofta engagerade i forskningssamarbeten.

Från millennieskiftet och framåt utvecklade Saab samarbetena med universiteten genom att Saabingenjörer, bl.a. specialister, blev adjungerade professorer på deltid vid tex LiU, Chalmers eller KTH. Några nu aktuella exempel: Hans Ansell inom utmattning, brottmekanik och skadetålighet, Gunnar Holmberg inom ”Complex product deve-

lopment in international collaboration” och Per Weinefelt inom beräkningsmatematik. Ett stort antal Saabingenjörer är idag engagerade i forskningsprogram på landets högskolor inte minst inom NFFP och de andra program som beskrivits ovan. Flera är också adjungerade lektorer och ett antal håller på att docentmeritera sig. Per Lötstedt, professor i Beräkningsvetenskap vid Uppsala universitet, är ett exempel på en Saabingenjör som också är ”Full professor”. Ett annat exempel på ”forskarutbyte och kompetensanskaffning” är Saabs rekrytering av Bengt Winzell, som på 80-talet var Professor i tillämpad matematik vid LiU. Bengt Winzell blev en framgångsrik specialist inom aeroelasticitet.

FFA har haft flera adjungerade professorer på KTH (Anders Blom, Börje Andersson och Peter Göransson) där de bl.a. handledt industridoktorander från Saab. Flera FFA:are har under de senaste decennierna blivit professorer på olika högskolor (och några har redan blivit emeritus). Dan Henningsson och Peter Göransson på KTH samt Jan Nordström på LiU har nämnts tidigare i texten. Andra är Arthur Rizzi KTH, Ulf Ringertz KTH, Lars-Erik Eriksson och Leif Asp Chalmers och Martin Berggren Umeå.

2010-talet – Nya flygplan utvecklas - Gripen E och nytt skolflygplan för USAF ***Ny Gripengeneration utvecklas, Gripen E. Brasilienexport och forskningssamarbete. Saab börjar tillverkning i Brasilien. Boeing och Saab inleder samarbete för utveckling av nytt skolflygplan för USAF-TX-trainer. Saab bygger fabrik för tillverkning i USA. Svensk flygforskning i nya former – Nationella forskningsagendor, Innovair, SARC.***

FMV beställde utveckling av Gripen E i februari 2013 och serieproduktion av 60 st Gripen E i december 2013. I maj 2016 sker utrullning av det första provflygplanet för Gripen E. I juni 2017 skedde premiärflygningen med provflygplan 39-8 för Gripen NG/E och i november 2018 gjorde provflygplan 39-9 sin första flygning. Leverans av första Gripen E till Flygvapnet skedde i december 2019.

Brasilien tog i december 2014 beslut om köp av 36 st Gripen; 28 st ensitsiga Gripen E och 6 st tvåsitsiga Gripen F. Den tvåsitsiga versionen utvecklas gemensamt. Saab har byggt en fabrik utanför San Paulo där delar till Gripen kommer att tillverkas. Leverans av Gripen till Brasilien inleds under 2021.



I december 2013 annonserade Boeing och Saab samarbetet för att offerera nästa USAF skolflygplan, Boeing/Saab T-X. I föredraget "Nytt skolflygplan med Boeing" 6 oktober 2014 på Veteranklubben Saab beskriver Tommy Nygren m.fl. projektet. Saabs processer och modellbaserade metoder kom till god användning i samarbetet och på rekordtid, redan efter mindre än tre år kunde Boeing visa det första flygplanet i augusti 2016 och man genomförde den första flygningen i december samma år. I september 2018 valde USAF Boeing/Saab T-X eller Boeing/Saab T-7 Red Hawk som deras nästa skolflygplan.

Under 2009 separerades Saab Aerostructures från Saab Aero-nautics och blev ett renodlat civilt företag. Saab Aerostructures fortsatte framgångsrikt sin utveckling och tillverkning av dörrar, luckor och styrytor för Airbus och Boeing. Se Saab-minnen 30/7 av S-G Eriksson.

Exempel på teknikutveckling och forskning

Teknikutveckling och forskning som startat på 00-talet fortsatte

på de allra flesta områden även på 10-talet och många områden intensifierades.

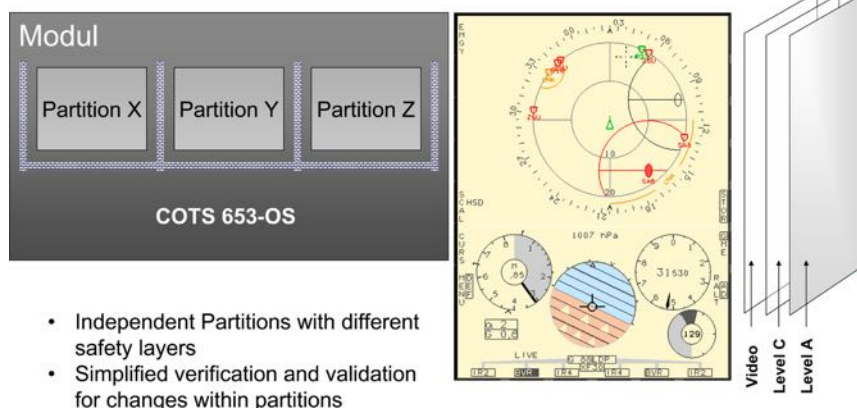
Mycket av teknikutvecklingen drevs av behoven för Gripen E och Boeing/Saab T-X.

Gripen E innebär stora tekniksprång på många områden. Några exempel på viktiga områden är:

- Ny kraftigare motor GE F414.
- Elektroniksystem med ny systemarkitektur.
- Utökad sensorfusion.
- Ny AESA radar.
- Med mera.

Saabs utveckling av den nya systemarkitekturen för avioniksystemet innebär en öppen arkitektur där flygsäkerhetskritiska funktioner separeras från icke säkerhetskritiska funktioner. Detta möjliggör och effektiviserar en mer kontinuerlig uppdatering av t.ex. taktiska funktioner än i tidigare versioner. Se figurerna nedan samt referens 40, A Pettersson och G Holmberg. Systemet presenterades vid Veteranklubbens Saab möte 16 september 2019 i föredraget "Gripen EFs avioniksystem" av N-E Peterson. Systemarkitekturen har visat sig

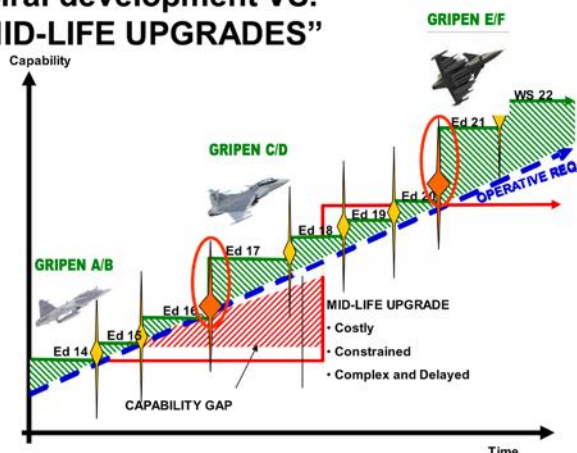
IMA – Integrated Modular Avionics



Systemarkitektur Gripen E.

mycket framgångsrik och 2010 tilldelades Anders Pettersson och hans utvecklingsgrupp Saabs Innovationspris.

Spiral development VS. "MID-LIFE UPGRADES"



Uppgraderingar Gripen E, referens 40 A Pettersson, G Holmberg, Saab.

Utveckling och tillverkning av Gripen E blev det första flygplan där Saab på ett mer genomgripande sätt kunde tillämpa sitt långvariga och omfattande förändringsarbete med nya processer och modellbaserat arbete. Vid föredraget "Första flygning med Gripen E" 4 december 2017 på Veteranklubben Saab föreningsmöte presenterade provflygare Marcus Wandt en del av utvecklingen och verifieringen fram till och inklusive första flygning. Vid föredraget "Tillverkning av Gripen E" 5 november 2018 presenterade Matti Olsson upplägget av tillverkningen. Se också referens 18, Aircraft Development and Life cycle Value av B Fredriksson, G Holmberg.

I samband med Boeing/Saab T-X upphandlingen beslutade Saab att starta en fabrik för tillverkning i Lafayette, Indiana USA. Anläggningen som ska börja uppföras 2020 placeras vid Purdue University Discovery Park District. I samband med annonseringen meddelades också att Saab planerar utöka sin USA-baserade forskning och utveckling inom områden som sensorsystem, artificiell intelligens och autonoma system.

FoT-program och samarbeten Svenskt flygforskningssamarbete i nya former – Innovair

Under 2010-talet inrättades av regeringen ett antal Strategiska InnovationsProgram (SIP), en satsning där näringsliv, offentlig sektor och akademi kraftsamlar för lösningar på globala samhällsutmaningar och för ökad internationell konkurrenskraft.

Satsningen finansieras via Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

Innovair - det strategiska innovationsprogrammet för flyg – var ett av de första sex program som inrättades 2014 och består av flygteknikområdets samlade aktörer.

Innovair (www.innovair.org) har ett programkontor med en programchef, en biträdande programchef och administrativa funktioner. Anders Blom med bakgrund FFA/FOI har varit programdirektör och drivande kraft från starten av Innovair. Verksamheten drivs gemensamt av en arbetsgrupp bestående av totalt ett 40-tal personer men med en kärna av 15-20 personer som deltar i månatliga arbetsmöten. Innovairs styrgrupp består av representanter från storföretag, SMF, institut, universitet/högskola samt relaterade myndigheter inklusive Försvarmakten och FMV.

Innovairs verksamhet styrs av en nationell strategi som formuleras och underhålls gemensamt av flygteknikområdets samlade aktörer i form av dokumenten NRIA Flyg som har publicerats i nya utgåvor 2010, 2013, 2016 och 2020, referens 41, NRIA Flyg; Innovair-Strategiskt innovationsprogram för flyg.



NRIA Flyg är ett branschsamlande verktyg för att garantera att områdets alla aktörer arbetar åt samma håll, att resultatet ska bli en entydig förstärkning av Sveriges innovationsresurser och att politiker och beslutsfattare ska få en klar bild av områdets styrka och potential för Sverige. NRIA Flyg fungerar som gemensam strategi för både civil och militär flygteknik.

Offentlig finansiering av svensk flygteknisk innovationsverksamhet sker numera främst via tre finansieringsprogram: NFFP, demonstratorprogram och militära FoT-program.

Innovair ansvarar för och hanterar NFFP och demonstratorprogrammen SweDemo (2016-2019) och IntDemo (2020-2023). Nytt för den senaste (sjunde) omgången av NFFP, är extra medel för internationalisering, som inledningsvis riktas mot Brasilien, Storbritannien och Tyskland i linje med Sveriges exportstrategi.

Både NFFP och SweDemo drivs genom primärt öppna utlysningar med oberoende externa expertutvärderare och beslut via en myndighetsgrupp där industrin inte deltar.

Genom arbetet med NRIA och NFFP har aktörerna gemensamt kommit överens om prioriterade teknikområden.

Kompetenskluster

För att driva flygforskningen i samverkan mellan industri, SME, akademi och institut har fr.o.m. NFFP 6 ett antal kompetenskluster etablerats, relaterade till Saab:s respektive GKN:s verksamheter. För varje område finns en klusterledare utsedd, vilka för Saabs del är följande (2020):

- *Overall Design, System Integration* - Christopher Jouannet.
- *Flygteknik* - Roger Larsson.
- *Sensorer – system och funktioner* - Anders Höök.
- *Mjukvaruintensiva system* - Ingemar Söderquist.
- *HMI och autonoma system, distrib. beslutsfattande* - Jens Alfredson.
- *Struktur & produktionsteknik* - Per Hallander och Christina Altkvist.
- *Drift- och underhållsteknik* - Olov Candell.

Innovair arbetar inte specifikt med flyget som transportsystem men samverkar med de aktörer som är verksamma inom detta såsom Trafikverket, Transportstyrelsen, LfV, Swedavia och flygbolag. Innovair samverkar på regional, nationell, bilateralt internationell och multinationell nivå genom olika fora.

Produktionsarenor Compraser (Linköping) och PTC/Innovatum (Trollhättan)

Inom ramen för Innovair har två produktionsarenor för avancerade material och deras produktions-

metoder etablerats; Compraser i Linköping och PTC/Innovatum i Trollhättan. Inriktningen för Compraser är kompositmaterial och för PTC/Innovatum metalliska material. Viktiga uppgifter för arenorna är att bidra till långsiktig demoverksamhet via infrastruktur och kritisk massa av kompetenta utförare. De två arenorna är också en tydlig supportstruktur som skapar möjligheter för SMF att delta i utveckling och produktion. Arenorna ger stöd och resurser till SMF för att komma i kontakt med flygindustrin, förstå industrins behov och delta i flygindustrins FoU-program. Inom NFFP genomförs programmet SMF Flyg för kompetensutveckling hos SMF och arenorna har en viktig sammanhållande roll inom SMF Flyg.

Arenorna skapar goda möjligheter till samverkan mellan teknikområden och andra strategiska forsknings- och innovationsagendor, exempelvis lättvikt (SIP Lighter), transport och produktion. Ett exempel på detta är SMF utlysningar inom Innovair (SMF Flyg) samordnas med motsvarande utlysningar inom SIP Lighter. Genom avtal som tecknats mellan Clean Sky och regionerna (Region Östergötland och Västra Götaland) har det blivit möjligt att få finansiering till investeringar i utrustning via Tillväxtverket (EU's strukturfonder).

SARC - Swedish Aerospace Research Centre

För att stimulera akademisk samverkan inriktad mot industriellt relevanta forskningsfrågor har Innovair tagit initiativ till uppbyggnaden av ett nationellt forskningscenter, Swedish Aerospace Research Centre (www.sarc.center) - SARC.

Medlemmar i SARC är primärt Chalmers, KTH, LiU och LTU men alla högskolor som deltar i NFFP-projekt är välkomna att delta. Centret är nationellt och öppet för alla intresserade akademiska aktörer. Alla högskole-institutioner som får medel från NFFP7 kommer att kopplas till centret. SARC:s verksamhet har tre delar:

- SARC.Research syftar till att samordna den forskning som sker vid högskolorna mot industrins behov.
- SARC.Academy är en nationell forskarskola som tillhandahåller högkvalitativa och relevanta utbildningar på flygteknikområdet.
- SARC.International har i uppgift att underlätta forskningssamarbeten med strategiskt utvalda nationer.

Centret avses också fylla det hål som uppkommit i svensk grundläggande flygforskning sedan FOI:s flygforskningsverksamhet väsentligen avvecklats för att ersättas av systemutvärdering avseende taktiska och operativa aspekter av militära flygfarkoster.

De inledande faserna finansieras via Innovair. Senare finansiering ska kunna komma från andra håll, vilket är en poäng med centret: att skapa en samlad kontaktyta mellan forskning och finansiering, och därmed både underlätta och bredda finansieringsmöjligheterna för flygteknisk forskning.

En ökad nationell samverkan stärker även Sverige internationellt, inte minst gentemot strategiskt prioriterade länder för flygtekniskt samarbete såsom Brasilien, Storbritannien och Tyskland och, på längre sikt, Frankrike och USA.

När det gäller Brasilien, som är föregångsland i Innovairs internationalisering, har fyra olika professorer från LiU, Chalmers och KTH inom ramen för SARC deltagit som gästprofessorer vid ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica). Etableringen av SARC i Sverige har klart underlättats av att de involverade professorerna är samma personer som är aktiva i Brasiliensamarbetet. Mera om detta nedan.

Forskning, innovationer och teknikutveckling i samband med exportaffärer

I exportaffärer är det ett standardkrav från kundländerna att exportlandet också ska erbjuda ”tekniköverföring”. Den direkta tekniköverföringen är kopplad direkt till Gripenens utveckling eller tillverkning. Den indirekta tekniköverföringen är främst forskning, innovation och teknikutveckling i samarbeten mellan ländernas forsknings- och utbildningsorganisationer och industrier. Oftast sker detta på nationell nivå och som samarbete mellan ländernas forsknings- och utbildningsorganisationer, med exportföretaget som katalysator. Sverige och Saab har genom Gripenexporterna byggt upp många samarbeten som tar sig olika former i olika länder.

FFA och FOI medverkade tidigt vid besök i tilltänkta exportländer med presentationer av svensk flygforskning och FoT-samverkan. Forsknings-samarbeten och teknikutbyten har blivit naturliga inslag som ofta leder till långsiktiga formella relationer och samarbeten mellan organisationer men kan också leda till nya och oväntade karriärvägar för individer. Vi ger nedan några exempel.

Sydafrika

Under exportansträngningarna för Gripen-försäljningen etablerades många kontakter med Sydafrikanska forsknings- och utbildningsorganisationer såsom universiteten i Pretoria, Johannesburg och Cape Town och Stellenbosch samt forskningsinstitutet CSIR (Council for Scientific and Industrial Research) i Pretoria.

FFA etablerade i slutet av 90-talet ett samarbetsprojekt inom CFD med CSIR. Projektet fortsatte under 00-talet. Projektledaren Jan Nordström fick kontakter i SA och en professur vid University of Witwatersrand. Han blev senare professor i Scientific Computing vid LiU men har fortsatt kopplingar till flera universitet i Sydafrika (Witwatersrand, Cape Town och Johannesburg).

Exempel utanför flygteknik: Saab var tillsammans med Riksbankens jubileumsfond en katalysator i etableringsprocessen av Stellenbosch Institute of Advanced Studies, STIAS som bildades 1999, se länk 5. STIAS började som en del av Stellenbosch University men är numera en fristående organisation som syftar till att attrahera framstående forskare från hela världen inom olika teman i syfte att utveckla landet och hela kontinenten. Ett antal svenska forskare har genom åren verkat vid STIAS. Sverige, genom Stockholms universitet och KAW stiftelse ingår i STIAS styrelse.

En ganska omfattande samverkan sker inom South Africa- Sweden University Forum – SASUF - en samverkansorganisation mellan Svenska och Sydafrikanska universitet inom olika teman. 6-10 maj 2019 genomfördes SOUTH AFRICA – SWEDEN RESEARCH & INNOVATION WEEK där 13 svenska universitet var representerade bland 500 deltagare. Sex olika teman avhandlades, se rapport på länk 6.

En liten anekdot från medförfattaren BF besök på universitetet Witwatersrand i Johannesburg:

Vid besöket träffade BF den nytilträdde rektorn. När han hörde att BF kom från Linköping sa 'han något i stil med, " ...I just moved up from Linköping Road in Cape Town where I lived.... " Kanske kan gatunamnet förklaras av följande bakgrund: År 1820 utvandrade bondsonen Jacob Lallerstedt från Östergötland till Cape Town där han bl.a. deltog i etablerandet av en bank och han byggde ett bryggeri. Bryggeriet togs senare över av en annan svensk, Anders Ohlsson. Man kan än idag köpa Ohlssons Lager på Kapstadens krogar.

Tjeckien

Inför Gripen-exporten till Tjeckien etablerade FFA i slutet på 90-talet ett CFD-samarbete med VZLU i Prag. En ung gästforskare, Adam Jirazek, kom till FFA för att inleda samarbetet. Han återkom senare till FFA, doktorerade på KTH och stannade i Sverige som anställd på FOI. Han är numera knuten till US Air Force Academy i Colorado.

I samband med att FOI avvecklade vindtunnlarna tecknades ett samarbetsavtal med tjeckiska VZLU och en del vindtunnelprovning genomfördes där.

Brasilien

Samarbetet med Brasilien har utvecklats på flera olika fronter och innefattar omfattande både direkt och indirekt tekniköverföring. Saabs direkta tekniköverföring genom Gripenkontraktet innebär som nämnts ovan att Embraer deltar i utveckling och tillverkning och Saab har startat en fabrik för tillverkning av Gripendelar. För den indirekta tekniköverföringen arbetar Saab med regeringskansliet och landets samlade aktörer för att bygga ett innovations-samarbete som dels stöttar direkta flygsamarbeten men även bidrar till regeringens exportstrategi via den katalysatoreffekt som Gripen medför (minst 30 år samverkan mellan länderna) avseende möjligheter att etablera innovationssamarbeten och export även inom andra sektorer. Saab etablerade tidigt CISB (Swedish-Brazilian Research and Innovation Centre) www.cisb.org.br som en hub för innovationssamarbete inom olika områden (f.n. Aeronautics, Urban Development, Transport and Logistics).

En svensk gästprofessur (besökande akademikerstruktur) inrättades 2014 vid ITA (Aeronautical Technological Institute) i São José dos Campos. Flera svenska professorer Petter Krus från LiU, Dan Henningsson från KTH samt Tomas Grönstedt och Ragnar Larsson från Chalmers har i olika omgångar vistats i Brasilien och där etablerat forskningssamarbete inom olika områden.

Ett omfattande projektsamarbete med många involverade doktorander både i Brasilien och i Sverige har etablerats. Sverige samverkar 2020 med brasilianska aktörer i nära 60 projekt med 26 olika universitet involverade. Några projekt har finansierats av NFFP och andra via gemensamma utlysningar från Vinnova och brasilianska forskningsfinansiärerna Finep och Senai. Våren 2019 arrangerade SARC en gemensam doktorandkurs i Brasilien för svenska och brasilianska doktorander.

Med svenska SARC som modell, har nu också ett motsvarande samverkansforum BARINet (Brazilian Aerospace Research and Innovation Network) etablerats mellan brasilianska universitet och högskolor. Inom Aeronautics-delen arrangeras varje år sedan 2012 en Aeronautical Workshop, vartannat år i Sverige och vartannat år i Brasilien. 2018 i samband med ICAS 2018-kongressen i Belo Horizonte och 2019 i samband med vår svenska kongress FT2019 i Stockholm.

En gemensam Air Domain Study har genomförts och fem nya gemensamma projekt har definierats och avses starta under 2020.

- Definition of Military scenarios for UAS (samarbete mellan Flygvapnen).
- Autonomy related to UAS – Swarms.
- Multisensor Image-based navigation.
- Autonomous search System, with possible delivering of survival-related supplies and rescue.
- Sense and Avoid for UAS of different categories.

Ett projekt som redan är igång gäller Human Factors (HMI HUFLAB) och finansieras direkt av FMV med medel från FM FoT.

Innovair har en samordnande roll i forsknings-samarbetet med Brasilien. The Brazilian-Swedish Aeronautical Innovation Cooperation har en egen hemsida www.brasweaic.org.

En högnivågrupp HLG (High Level Group) har etablerats på statssekreterarnivå för koordinering av samarbetet. HLG-strukturen innefattar tre departement i Sverige (Närings-, Försvars-, UD) och fem i Brasilien, båda ambassaderna, företagen (Saab, Embraer), CISB, Innovair och ett utvecklat akademiskt samarbete. Under HLG har etablerats en exekutiv kommitte (EC) ledd av Näringsdepartementet i samverkan med Innovair, som har det operativa ansvaret.

Spin-off och flygforskningens "Triple Use"

Den flygtekniska forskningen och teknikutvecklingen, med utpräglat prestandafokus, har under de gånna åren resulterat i användning också inom många andra områden än flyg. Många innovationer, som härstammar från flygteknisk forskning, har resulterat i nya produkter och avknoppningsföretag.

SAAB Venture Capital Council

Leveraging defence R&D by bringing competitive technologies to civil markets in win-win arrangements



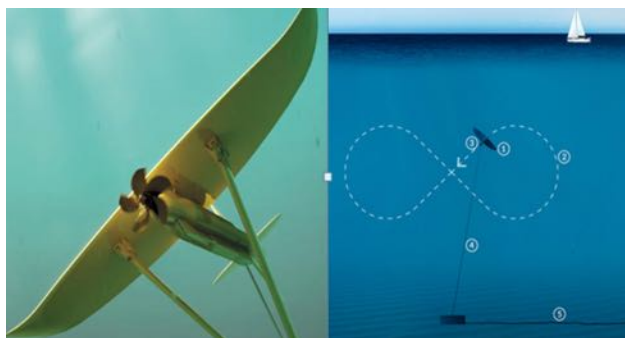
Saab Venture Capital Council, VCC.

Saab startade år 2001 ett innovationsråd, Saab Venture Capital Council, VCC med syfte att aktivt arbeta med innovationer och spin-off. Verksamheten var framgångsrik och den pågår fortfarande, men idag under nya former, inom Saabs dotterbolag Saab Ventures AB som bildades 2005.

Ett intressant exempel är Spin-off företaget C3Technologies. Saabingenjören Leif Haglund såg en civil tillämpning av höghastighetsalgoritmer för målsökning, tillämpningar utanför Saabs kärnverksamhet. Tillämpningen är tredimensionella kart- och terrängtillämpningar med hög precision. Man bildade spin-off företaget C3 Technologies. 2011 såldes teknologin för civila tillämpningar och utifrån Saabs försäljning kan man enkelt räkna ut att det totala värdet av C3 Technologies 2011 var ca SEK 1,75 Miljarder.

Mer detaljer om detta och fler exempel på spin-off företag finns i Saab-minnen 30/6.

Ett annat, mer flygtekniskt relaterat spin-off företag är Minesto AB. Saabingenjören Magnus Landberg kom på den briljanta idén att man kan utvinna energi ur tidvattenströmmar genom att man förbinder en sammanbyggd vinge, vattenturbin/generator och roder med en i botten förankrad lina. I tidvattenströmmen kommer då farkosten att kunna få en mycket högre



Minesto-systemets form och funktion. Från Minestos hemsida.

fart än tidvattenströmmen och turbinen genererar elektrisk ström. Detta möjliggörs genom att farkosten styrs i en cirkulär eller åttaformig rörelse.

Flygteknikkongresser och Thulinmedaljer

Deltagande i internationella fackkongresser, inte minst i USA, har alltid varit en viktig aktivitet för att hålla kontakt med forskningen i omvärlden och knyta nya kontakter. Konferenser i USA var länge dominerande inom flygbranschen men under de senaste decennierna har i anslutning till EU-programmen regelbundet arrangerats EU-Aerodays på olika platser i Europa.

I Sverige har Flyg- och rymdtekniska föreningen (FTF) arrangerat nationella kongresser vart tredje år från 1992 med ett ökat inslag av internationella deltagare. De senaste två kongresserna 2016 och 2019 arrangerades i samverkan med Innovair och hade många deltagare från samarbetslandet Brasilien.

FTF, som sedan starten 1957 är svensk medlemsorganisation i ICAS (International Council of the Aeronautical Sciences), har arrangerat ICAS kongresser i Sverige 1962 och 1990. ICAS kongressen 2022 kommer att hållas i Stockholm i september 2022 med FTF och Innovair som lokal arrangör och med Saab som huvudsponsor, troligt beslut 2021. Under perioden 2002-2010 var FTF värd för ICAS sekretariat med medförfattaren AG som ICAS Executive Secretary.

FTF delar sedan 1944 ut Thulinmedaljer i olika valörer till personer ”som utfört en utomordentligt förtjänstfull flygteknisk gärning”. En förteckning över de som genom åren har medaljerats för sina insatser för svensk flygteknik finns på FTF hemsida www.ftfsweden.se/thulinmedaljen.

I tillägg till dessa för flygteknik generella konferenser har svenskt flyg och Saab varit aktiv i många fackkonferenser. Två viktiga områden, där Saab under alla år varit mycket aktiv är:

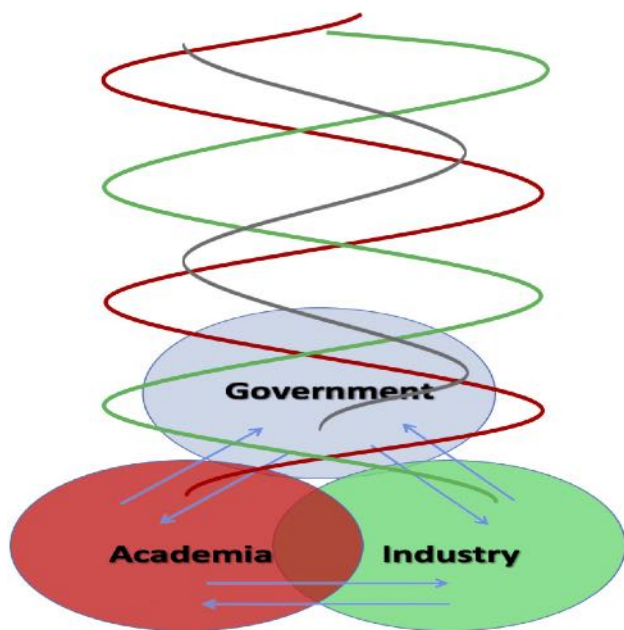
- SETP, Society of Experimental Test Pilots med en omfattande verksamhet och årliga symposium.
- SFTE, Society of Flight Test Engineers. Saab var och är speciellt aktiv i European Chapter. Bilden nedan är från styrelsemöte på Saab med Gösta Niss i mitten. Gösta var ordförande 1989-1993. Andra svenskar engagerade i styrelsen för European Chapter har varit Hilbert Gustavsson, FMV, Lars-Åke Holm Saab och Bengt Oredsson, Saab med flera.



SFTE, European Chapter styrelsemöte på Saab. Gösta Niss i mitten.

Några reflektioner om forsknings- och innovationsprocessens förändringar genom åren, generellt och specifikt för flygområdet, slutord och tack

I det inledande avsnittet skrev vi om hur cirk-larna i Triple Helix modellen (samverkan mellan staten, industrin och akademien) under de första decennierna var nästan helt överlappande för att senare bli lite mera separerade av olika skäl som vi reflekterar över nedan.



Under 40-, 50-, 60- och 70-talen var den statliga avancerade teknikupphandlingen av stor betydelse för uppbyggnaden av den svenska industristrukturen inom flera branscher, främst samhällsviktiga områden såsom försvar, infrastruktur, energiförsörjning, telekommunikation och sjuk- och hälsovård. Då fanns relationerna FM/FMV och försvarsindustrin, Vattenfall och ASEA, SJ och ASEA, Televerket och LM Ericsson. Forskning, teknikutveckling och produktutveckling var nära kopplade, cirk-larna var nästan överlappande.

Från 80-talet och framåt började avregleringarna och de statliga verken började så småningom bolagiseras och i en del fall privatiseras och den avancerade statliga teknikupphandlingen minskade. Försvarssektorn förblev dock helstatlig och där fortsatte teknikupphandlingen, men den förändrades successivt och för t.ex. JAS-projektet yttrade sig detta i fastpriskon-trakt där industrin tog en tydligare risk. Senare, under 90-talet och framåt förändrades också upphandlingen alltmer mot funktions- och systemupphandling.

Parallellt med dessa förändringar förändrades också forskningsstrukturen och det kom in allt fler aktörer, finansiärer och forskningsorganisationer, t.ex. blev universitet och högskolor alltmer engagerade i tillämpad forskning, forskning som tidigare kunde vara del i den avancerade teknikupphandlingen. Ett successivt allt närmare samarbete mellan industri, universitet och forskningsinstitut började utvecklas. Denna samverkan blev allt viktigare för industrins teknik- och kompetensförsörjning.

Avregleringarna innebar dessutom en successivt ökad konkurrens på marknaden och den triple helix-modell, som utvecklats i Sverige blev allt viktigare. Under de senaste decennierna har globaliseringen inneburit att konkurrensen har blivit internationell och den svenska triple helix-modellen har behövt förändras. Forskningsarenan har blivit alltmer internationell. För flygområdet har dessutom systemen, både civila och militära flygsystem, blivit så avancerade och mångfalden i teknik blivit så omfattande att affärsmodellerna har förändrats så att internationella underleverantörer deltar i utvecklingen.

Detta utökade internationella samarbete under de senaste decennierna, där de svenska aktörerna har olika kontaktytor och samverkansformer, förstärker behovet av nationell samverkan för att på bästa sätt tillvarata utvecklingsmöjligheterna för svensk flygteknik och upprätthålla internationell konkurrenskraft.

Under 2000-talet minskade de statliga satsningarna på försvars- och flygforskning kraftigt. Genom denna reduktion av försvarsforskningen minskade också resurser och möjligheter att delta i internationella samarbetsprojekt. För att Sverige skall kunna tillgodogöra sig och delta i de utökade gemensamma satsningar som nu görs inom europeiska FoT-program, såväl civila som militära,

krävs koordinerade och ökade satsningar på hemmaplan. Det är viktigt att bibehålla och utveckla FoT med djup inom prioriterade områden för att kunna få tillgång till framtida internationella samarbeten. Det är också mycket viktigt att triple-helix modellens offentliga del hittar en samsyn mellan berörda departement så att både försvarspolitiska, industriella och utbildningspolitiska aspekter beaktas.

Den branschsamverkan, som etablerats inom flygområdet genom bildandet av Innovair och utvecklingen av nationella utvecklingsplaner, måste fortsätta och vidareutvecklas för att vi ska kunna upprätthålla Sveriges internationella konkurrenskraft. Det som tidigare var forskningsagendor har nu blivit forsknings- och innovationsagendor för att man på ett bättre sätt ska kunna planera för att "försörja" hela produktframtagningsprocessen. Denna utveckling har inneburit att många företag idag ser forskningssamverkan med universitet och forskningsinstitut som en viktig del i den långsiktiga affärsplanen för att säkra teknik- och kompetensförsörjningen.

Slutord och tack

Arbetet med denna uppsats har för oss författare varit en mycket intressant "övning". Vi imponeras av det kunnande som byggdes upp av tidigare generationer och vad lilla Sverige lyckades åstadkomma. Vi har tillsammans med många andra fått vara med och bygga vidare på detta teknikerav och trots förändrade förutsättningar har den svenska förmågan att utveckla, konstruera och bygga flygplan hittills kunnat upprätthållas.

Vi har försökt beskriva hur Sverige har fungerat när det gäller flygforskning och teknikutveckling och hur denna "försörjningsprocess" för att kunna utveckla flygplan har fungerat och förändrats genom åren. Området är omfattande och vi har bara kunnat beskriva delar av allt som har skett och ge några illustrativa exempel.

Vår berättelse grundar sig i våra personliga erfarenheter och upplevelser genom ett halvt sekels verksamhet inom flyg men också på alla de berättelser i uppsatser och artiklar som vi har tagit del av och refererar till. Ett antal personer är nämnda vid namn för sina insatser men det finns självklart många fler som kunde ha nämnts.

Att denna uppsats kommit till beror på att Kenneth Nilsson, Saab-minnens sammanhållande redaktör, under flera år skickat upprepade uppmaningar att vi tillsammans borde skriva om detta.

Vi vill slutligen särskilt tacka Anders Blom och Gunnar Holmberg som tjänstvilligt faktagranskat och korrekturläst uppsatsen och kommit med flera förbättringsförslag.

Vi hoppas att du som läsare har haft lite behållning av vår långa berättelse.

Författarna

Billy Fredriksson

Född i Sillerud 1943, civilingenjör Maskinteknik Chalmers 1969, tekn. dr. och docent Hållfasthetslära LiTH 1976.

Professionell karriär: Termodynamik och Strömningslära Chalmers 1968-69, Hållfasthetslära LiTH ass. lektor, bitr. prof. 1969-78, Saab Military A/C, Saab-Scania, Saab Aeronautics, Saab AB 1978-2005, (Hållfärd, 1978-1986, tekn. dir, chef Sektor Utveckling 1986-1997, Teknik- och forskningschef 1997-2005).

Professor i Hållfasthetslära LiU/LiTH 1986-88. Visiting prof. MIT 1999-2001.

Pensionerad 2005. Konsult i eget företag 2005-Gripen exportstöd 2005-2011, ESS Lund 2011-2014, EU:s forskningsprogram, CleanSky 2009-

Styrelseuppdrag: Bl.a. Saab Ericsson Space AB, Luftfartsstyrelsen, Mjärdevi Science Park AB. Ordf. i Naturvetenskap & Teknik, Vetenskapsrådet.

Annat: Privatflygcertifikat LFK 1968, Fallskärmschopparcertifikat 1972. Ledamot i Ingenjörsvetenskapsakademien, IVA 1986-, President Int. Council Aeronautical Science, ICAS, 2002-2004, Fellow RAeS 2000, AIAA 2005.

Thulinmedaljen i guld 2004, KTH:s Guldmedalj, Industrisamverkan, 2010.

Anders Gustafsson

Född i Gnosjö 1943, gymnasieingenjör HTL Norrköping, flyglinjen 1963, Res. off.-utbildning Flygvapnet/STRIL 1963-65, civilingenjör Flygteknik KTH 1968.

Professionell karriär: KTH Flygteknik: - assistent aerodynamik 1968-69, (också övn. ass. flera år på 70-talet). FFA - Flygtekniska Försöksanstalten 1969-2000: - Aerodyn. beräkningsmetoder 1969-74, - Flygtransportsystem, bränslebesparing 1973-76, - Chef vindenergisek-

tionen 1977-87, - Administratör STU flygtekn. program 1982-91, - Avd. chef (aerodyn, flyg-system, vind) 1988-90, - Chef internationell samordning 1990-2000, EU, GARTEUR, EREA, LoI (sex nationer) m.m., plus nationellt: NFF och div. forskningsutredningar.

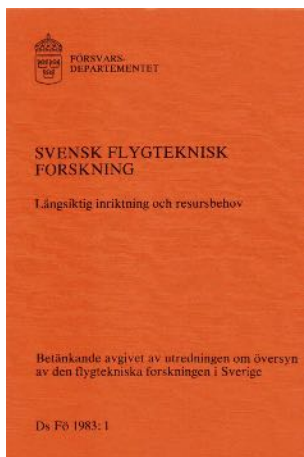
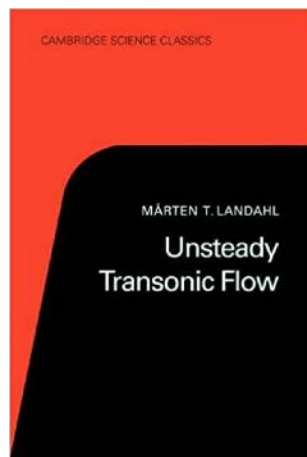
FOI Totalförsvarets forskningsinstitut 2001-2003: Director Vehicle Technologies and Aeronautics Programs.

Avtalspension december 2003.

Uppdrag efter pensioneringen: ICAS Executive Secretary 2002-2010, GARTEUR Secretary 2010-2012, INNOVAIR - sekreterare och webmaster 2014-2021, plus diverse utvärderingsuppdrag för EU och Vinnova.

Länklista

1. Projekt Saabs Yrkesskola/Industriskola: <http://www.saabveteran.se/I-skolan%20pdf/iskolanfoton.htm>
2. Sebastian Arvidsson presentation FT 2019: https://ftfsweden.se/wp-content/uploads/2019/10/K4_FT2019_Sebastian-Arvidson.pdf
3. Börje Andersson presentation FT2016: https://ftfsweden.se/wp-content/uploads/2016/11/FT2016_E04_Lecture_Stockholm_BARE.pdf
4. LiU projekt GFF (General Future Fighter) Video första flygningen: www.mynewsdesk.com/se/linkopings_universitet/videos/framtidens-stridsplan-i-miniformat-2913
5. Stellenbosch Institute of Advanced Studies: <https://stias.ac.za/about/objectives-and-ethos/>
6. SOUTH AFRICA – SWEDEN RESEARCH & INNOVATION WEEK: <https://sasuf.org/wp-content/uploads/2019/08/Annual-Report-SASUF-RI-Week-6-10-May-2019.pdf>
7. *Saabs Civila Flygprojekt*, Föredrag vid Veteranklubben Saab 25 år: http://www.saabveteran.se/110417totalt/110417_edlund.pdf



Referenslista

1. Bo Lundberg: Aeronautical Research in Sweden. Lecture London April 1955. Published in Journal of the Royal Aeronautical Society October 1955.
2. Bo Lundberg: Fatigue Life of Airplane Structures. The 18th Wright Brothers Lecture 1954. Journal of the Aeronautical Sciences (June 1955).
3. Flygtekniska uppsatser: tillägnade professor Sten Luthander på hans 50-årsdag 8 dec 1955.
4. Mårten T. Landahl: Unsteady Transonic Flow (1961). Cambridge Science Classics 1989.
5. Klaus Oswatitsch: GAS DYNAMICS. Academic Press 1956.
6. T. J. Hallberg (redaktör), Tema Flyg, Kapitel "Börje Langefors och Saab" i boken Datasaabs vänner, 1995 ISBN 91-972464-17.
7. Flygtekniska Försöksanstalten 1940-1990. Skrift vid FFA:s 50-årsjubileum 1990.
8. Magnus Ingemar Olsson m.fl. FFA och Saab Flygdivisionen – ett 50-årigt äktenskap. (ingår i referens 7 och finns med i S-m 31).
9. Gustafsson, A. L., Mattson, R.: Transonic wind tunnel tests of the PT3 model, a supercritical wing on a simple body. FFA AU-1134 Part1, 1974. (Också in Z. Flugwissenschaften 23 (1975)).
10. Woodward Frank A.: Analysis and Design of Wing-Body Combinations at Subsonic and Supersonic Speeds. J. Aircraft, vol. 5, no. 6, Nov-Dec. 1968.
11. Gustafsson, A. L.: A Computer program for the prediction of aerodynamic characteristics of wing-body-tail combinations at subsonic and supersonic speeds. FFA AU-635 Part 2, 1972.
12. U. Edlund, Saabs Civila Flygprojekt, Föredrag vid Veteranklubben Saab 25 år. Ladda ner presentationen på länk 7.
13. B. Fredriksson, Saab at the Forefront of Technologies - Integrating global knowledge. Föredrag Saab 2002-06-11.
14. B. Fredriksson, Holistic Systems Engineering in Product Development, The Saab-Scania Griffin 1994/1995 och även i Military Technology, Vol XIX, Issue 5, 1995.
15. B. Fredriksson, L. Sjöström, The role of mechanics and modeling in advanced product development, Eur. J. Mech., A/Solids, 16 Special issue, 83-86, 1997.
16. B. Fredriksson, Modelling and Simulation in Aircraft Development, Int. Conf. on Fluid Power, Linköping 1997.

17. B. Fredriksson, Holistic Approach to Product Development, with Emphasis on Modelling and Simulation, Int. Congress on Virtual Product Creation, Berlin 2002.
18. B. Fredriksson, G. Holmberg Aircraft Development and Best Life Cycle Value Australien International Aerospace Congress, Melbourne 24-26 February 2019.
19. G. Holmberg, Integrated Product Development - a Key to Affordability, Proceedings ICAS 2000, Harrogate.
20. G. Holmberg, J. Lilliecreutz, B. Fredriksson, Collaborative Product Development Supported by Modeling and Simulation, NATO-föredrag 2002.
21. J. Lilliecreutz, L. Ydreskog; Supplier Classification as an enabler for a differentiated purchasing strategy. Kapitel 8 i boken Best Practice Procurement: Public and Private Sector Perspectives, 2001.
22. Svensk Flygteknisk Forskning – Långsiktig inriktning och resursbehov. Betänkande avgivet av utredningen om översyn av den flygtekniska forskningen i Sverige. ”FLYGFORSK 82” (Ds Fö 1983:1).
23. U. Edlund, A. Gustafsson: Civil Flygteknisk Forskning, STU-tidningen TEKNIK I TIDEN nr 2/1982.
24. STU Ramprogram för flygteknisk forskning – Behov och förslag inför treårsperioden 1984/85–1986/87; FFAP-73 (red. A. Gustafsson).
25. G. Drougge, FFA. The International Vortex Flow Experiment for Computer Code Validation. ICAS von Karman Lecture 1988 (ICAS-88-0.5).
26. E. Murman red., Lean Enterprise Value, Insights from MIT’s Lean Aerospace Initiative, 2002.
27. Forskning och teknik för Flyget. Granskning av verksamheten vid Flygtekniska Försöksanstalten. Betänkande av FFA-utredningen (SOU 1991:53).
28. Forskning och utveckling för totalförsvaret (SOU 1991:91).
29. FRAMTIDEN FÖR SVENSK FLYGTEKNIK – förslag till målsättning och samordnade insatser. Nationellt Flygtekniskt Forum (NFF) 1996.
30. SVENSK FLYGTEKNIK INFÖR NYA UTMANINGAR – inriktning och mål för svensk flygteknik i en förändrad omvärld. Nationellt Flygtekniskt Forum (NFF) 1999.
31. European Commission (2001): European Aeronautics: A Vision for 2020. Meeting society’s needs and winning global leadership. Report of the Group of Personalities.
32. ACARE (2002): Strategic Research Agenda 1. Volume 1 and Volume 2.
33. ACARE (2004): Strategic Research Agenda 2. Volume 1 and Volume 2.
34. European Commission (March 2011): ”Flightpath 2050 - Europe’s Vision for Aviation”. Report of the High-Level Group on Aviation Research.
35. ACARE (2012): Strategic Research & Innovation Agenda (SRIA).
36. G. Holmberg, On Aircraft Development - managing flexible complex systems with long life cycles, Doktorsavhandling Linköpings Universitet.
37. Utvärdering av det nationella flygtekniska forskningsprogrammet, Ulf Edlund, Bernt Ericson, Anders Gustafsson & Ulf Olsson, Vinnova rapport VR 2004:09.
38. Utvärdering av det nationella flygtekniska forskningsprogrammet – NFFP, Tomas Åström, Tommy Jansson, Sven Faugert, Faugert & Co, Vinnova rapport VR 2008:05.
39. Nationella flygtekniska forskningsprogrammet (NFFP): Effektutvärdering etapperna 5-6, Tomas Åström, Markus Lindström, Torbjörn Fängström m.fl.; technopolis (group) 2018-12.
40. A. Pettersson, m fl, Systems Integration for Capability, Flexibility and Affordability- Gripen Avionics Upgrade. ICAS Workshop on Systems Integration, Krakow 2015.
41. NRIA Flyg; Innovair – Strategiskt Innovationsprogrammet för Flyg: NRA Flyg 2010, NRIA Flyg 2013, NRIA Flyg 2016, NRIA Flyg 2020.

Två generella referenser

Flygteknik under 100 år

Många författare och redaktionsråd från SMR och FTF. Utgiven 2003 i SMR:s förlags bokserie. Denna bok beskriver flygteknikens utveckling på många områden. Om du saknar något område eller önskar mer detaljer än vad du finner i föreliggande uppsats så kan du troligen finna mer information i denna bok.

Gripenkrönikan

med Ulf Rehme som redaktör, är en bra generell referens vad gäller flygplan 39 Gripen. Där finns svar på de flesta frågeställningar om JAS -projektet och Gripen flygplanet. Den är dock inte öppen men flera avsnitt har publicerats i Saab-minnen.

Exempelvis är referens Saab-minnen 21/17 och Saab-minnen 22/4 och delar av 30/6 utdrag ur Gripenkrönikan.

Innehåll

Uppsats

	Författare	Sida
Ordförandens förord med mera	Göran Berséus	3
Veteranklubben Saabs Flygtekniska bibliotek		4
80 år sedan Saab 17 gjorde sin premiärflygning	Arne Fagerstedt	5
Saab SSE-90 Lätt överljudsaffärsflygplan	Kenneth Nilsson	6-8
Utvecklingen av Viggen	Åge Röed	9-17
En amatör bullrar i kabinen	Kenneth Nilsson	18
Vad innebär Högalfa/Spinnprov?	Johan Gille	19-23
Flygplan 17 - Saabs första konstruktion	Ulf Edlund	24-29
Minnen från en anställning vid Saab åren 1939-1978	Kenneth Lindqvist	30-34
FFA och Saab Flygdivisionen - ett 50-årigt äktenskap	Magnus Ingemar Olsson	35-40
J 29:ans lösningar på pilvingens stabilitetsproblem	Arthur Rizzi och Jesper Oppelstrup	41-49
Sason (Sixten Andersson) och hans Projekt LX 1941. En efterforskning i nutid och dåtid	Yngve Sedin och Pertti Skillermärk	50-57
Börje Langefors - John Argyris - Akademisk strid i finita elementmetodens barndom	Billy Fredriksson	58-59
Hur stort bör ett jaktplan vara? Ekonomisk betraktelse	Hans Olof Palme	60-61
1. Safir i Antarktis	Hans Kampf	62-67
2. Varför Saab började utveckla egna räddningsstolar	Georg Ohlsson	68-73
3. Produktionsteknik - flygplan	Lars-Uno Elwingsson och Maria Weiland	74-87
4. Från enstaka kalkylatorer till organiserat avionikdatorsystem	Dag Folkesson	88-99
5. Den dubbla deltavingen	Tor Stavöstrand	100-113
6. Utvecklingen av Saab 340 som passagerarflygplan	Lars Helmersson	114-119
7. Bäraketen Arianes styrdatorer	Jan Torin	120-131
8. Flygforskning och teknikutveckling i Sverige	Billy Fredriksson och Anders Gustafsson	132-176

Materialet har insamlats eller nyskrivits av medlemmar i Veteranklubben Saab, men uttrycker inte någon mening från klubbens sida. © respektive författare och Veteranklubben Saab.

Saab Veterans' Club

The "Veteranklubben Saab" (Saab Veterans' Club) was formed in 1986. It is open to present and former employees of aerospace companies within the Saab Group with 20 years or more in the company.

The club maintains an archive with Saab documents, photos, etc. and a library containing professional aerospace literature. It also publishes a collection of articles of historical interest once a year in Saab-minnen (Saab Recollections). Meetings, social gatherings, study visits and other activities are arranged on a regular basis.

Topics in Saab-minnen range from Saab connected poetry to elaborate articles about the intricacies of Flight Control Systems. The contents (in Swedish) of all Saab-minnen can be found on our homepage: <http://www.saabveteran.se/>. We hope that the interested, non Swedish speaking, reader is able to spot articles of interest in the table of contents. We will be delighted to provide the article in question or the entire volume, and help out in translation.

Veteranklubben Saab

Föreningen bildades 1986 och består av veteraner som har arbetat eller arbetar inom Saabs "flygverksamhet". Målsättningen är att dokumentera Saabs och dess anställdas historia, samt att ordna studiebesök och föredragsaftnar. Föreningen har bl.a. ett arkiv och ett Flygtekniskt bibliotek. En viktig del av aktiviteterna är utgivandet av bokserien Saab-minnen.

