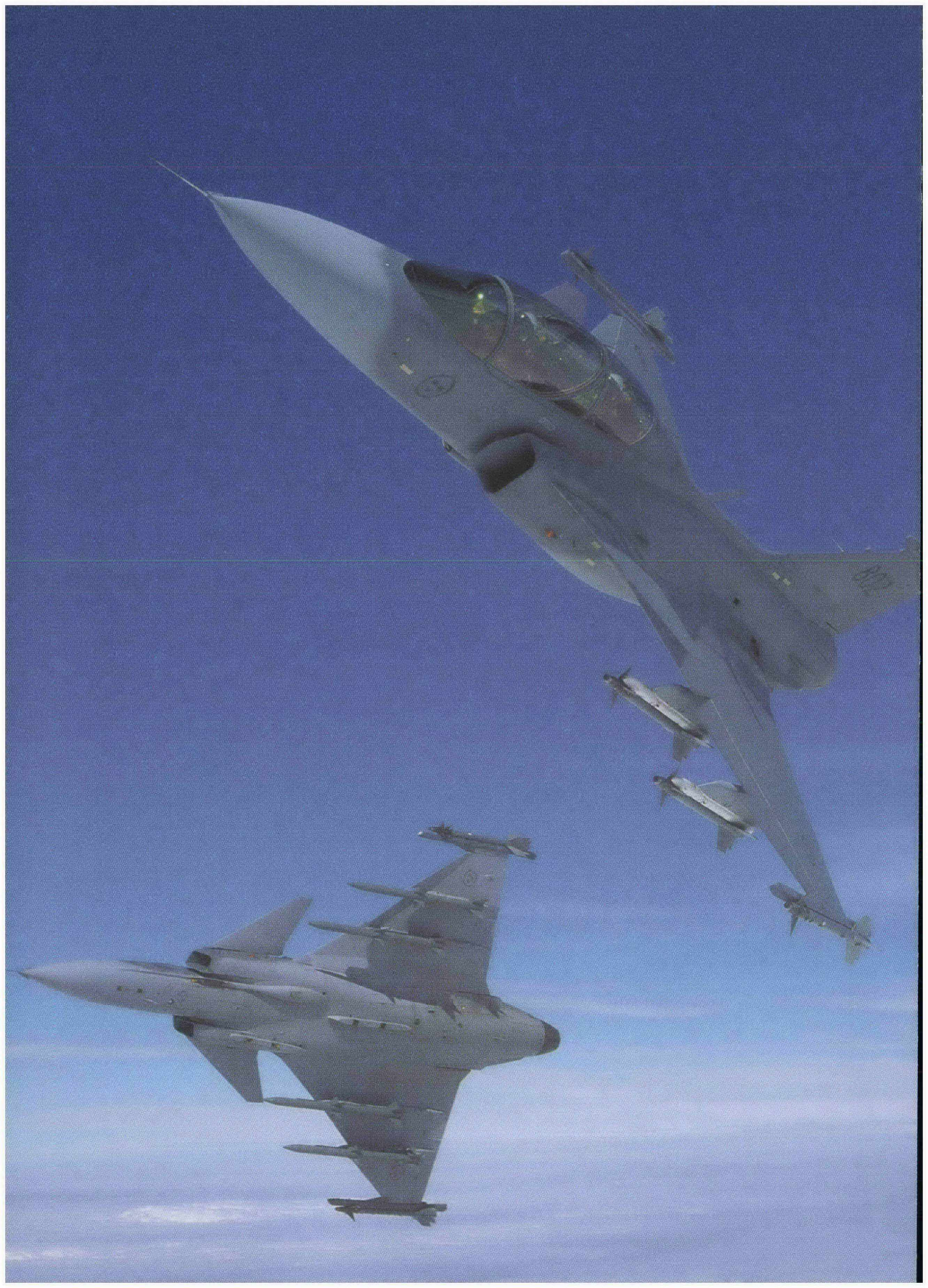


TOMMY IVARSSON

Teknikutvecklingen i JAS 39 Gripen

Denna artikel handlar om teknisk utveckling, i första hand på Saab AB, som direkt drivits av programmet JAS 39 Gripen.

Generellt har flygindustrins betydelse för utvecklingen av högteknologisk industriell kompetens och dess spridning dokumenterats av Gunnar Eliasson i boken *Teknologigenerator eller nationellt prestigeprojekt?* Han konstaterar bl a att "flygindustrin ligger på fronten vad gäller utvecklandet och användandet av ny teknologi inom stora delar av den svenska storindustrins verksamhetsområden, men särskilt i kombinationsområdet verkstadsteknik, informationsteknologi och användningen av nya material. Det handlar inte bara om teknologiskt kunnande utan om förmågan att organisera en kostnadseffektiv integrerad produktion innefattande konsulter och underleverantörer."

Konceptet JAS 39 Gripen

Allsidig användning

Grundläggande för konceptet JAS 39 Gripen är flygplanets allsidiga användning. En ensitsig version skall kunna genomföra jakt-, attack- och spaningsuppdrag med användning av samma inbyggda hård- och programvara. Även förarna måste vara allsidiga och kunna växla mellan olika uppdragstyper. Flygplanets roll skall kunna ändras i luften med en knapptryckning (kallas nu för "swing role").

JAS 39 Gripen i luften.
FOTO KATSUHIKO TOKUNAGA

Målet är att bl a att skapa taktisk osäkerhet för en angripare. Denne skall inte kunna räkna ut i vilken roll flygplanet för tillfället används. Ett annat mål är att skapa flexibilitet inför en osäker framtid och att få en tillräckligt stor serieproduktion och därmed största möjliga effekt inom en given budget.

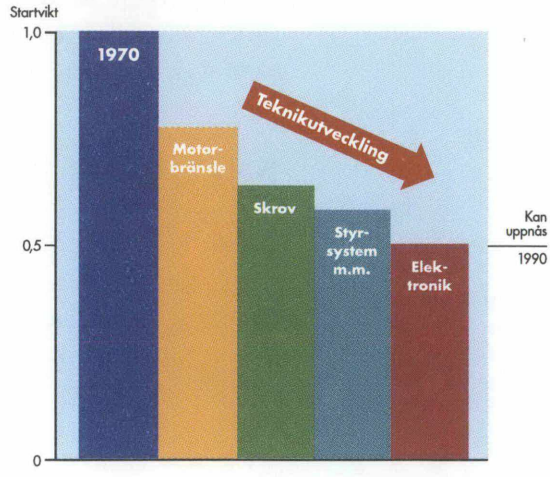
Utspridd basering

Inom det svenska flygvapnet har man sedan många år varit visionära och världsledande i att sprida ut flygplanen på och operera från vägbaser i kris- och krigstid, främst för att skydda flygplanen på marken. Vägbasering har använts för Draken och Viggen. JAS 39 Gripen utgör ytterligare ett steg i denna riktning. Flygplanen ska kunna starta och landa på vägbaser bara nio meter breda och 800 meter långa, även i vinterväglag med is på banorna. Härigenom får vi i Sverige så många alternativa vägbaser att det inte är lönsamt för en angripare att angripa bassystemet. Det ger också möjlighet att basera flygplanen nära en stridszon. Genom att konstruera flygplanet för utspridd basering på vägar och använda värnpliktiga för snabb klargöring har Försvarsmakten idag ett robust markkoncept. Det gäller även vid en eventuell attack med kryssningsmissiler.

Vikt

Det finns ett nära samband mellan kostnad och vikt för ett flygplan. Genom användning av ny teknik skulle flygplanets vikt hållas nere till 50 procent av Viggens, trots att prestandakraven var lika stora eller högre. Från början planerades att utnyttja nya material, ett elektriskt styrsystem, en lätt och bränslebesparande motor samt framsteg inom elektroniksystem. Inom vissa områden var det inte klart hur kraven skulle kunna nås. Ny teknik fick uppfinnas under utvecklingens gång. *Figur 1* visar den ursprungliga inriktningen.

Figur 1.
Utvecklingskraven.
TECKNING TOMAS MODIN



Livstidskostnad

JAS 39 Gripens livstidskostnad skulle vara ca 60 procent av Viggens. Kostnadstrenden från tidigare flygplansprojekt måste brytas för att få ett program som långsiktigt kunde finansieras. Detta var utan tvekan den största utmaningen och ledde till en mängd krav på hur verksamheten skulle drivas och organiseras, underleverantörers åtaganden, driftsäkerheten m m.

Utvecklingspotential

JAS 39 Gripen skall användas under mycket lång tid framöver, åtminstone 50 år från projektets start. Grundkonstruktionen måste därför vara anpassningsbar till nya krav. Redan på konceptstadiet definierades vissa viktiga krav på utvecklingspotential, både för vapensystemets utvecklingsmöjligheter och flygplanets grundkonstruktion.

Programmets etapper

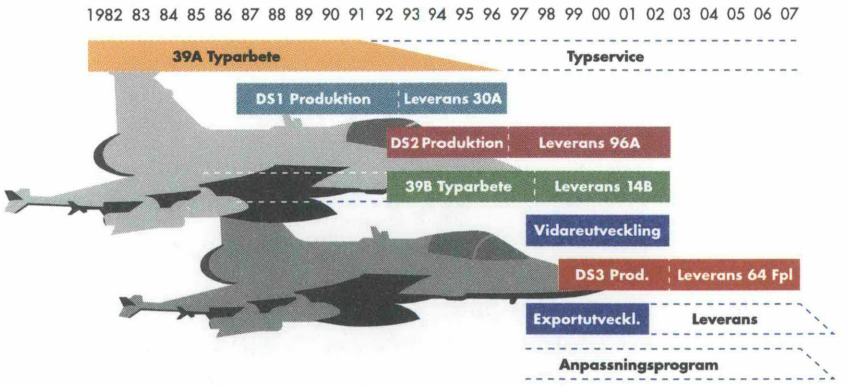
En översikt av programmet framgår av *figur 2.*

Industrigruppen JAS

För att från industrins sida ta ansvar för programmet JAS 39 Gripen på det sätt som statsmakterna önskade, vilket innebar stora ekonomiska satsningar och åtaganden för industrin, bildades redan 1980 Industrigruppen JAS AB, IG JAS. Här ingår (de nuvarande) företagen Saab AB, Volvo Aero, Ericsson Microwave Systems och Celsius Aerotech.

Avtal 1982

Under åren 1980 – 1982 utvecklades Flygvapnets krav på Gripensystemet från en huvudspecifikation till en relativt detaljerad projektspecifikation med tusentals krav på produkten. Den 30 juni 1982 tecknade Försvarets Materielverk, FMV, och IG JAS avtal om utveckling av JAS 39 Gripen samt leverans av delserie 1 om 30 flygplan med tillhörande stödsystem samt option på ytterligare 110 flygplan. Förutom krav på produkten ingick också krav på skapande av arbetsplatser i Sverige och teknikspridning till övriga intressenter – högskolor, industrier etc.



Figur 2.
JAS-programmets etapper.
TECKNING TOMAS MODIN

Avtal 1992

Tio år senare, i juni 1992, tecknades nya avtal om fortsättningen av Gripenprogrammet mellan FMV och IG JAS. De innehöll utveckling av den tvåsitsiga versionen JAS 39 B, 110 serieflygplan under åren 1997–2003 samt erforderliga stödsystem.

Samarbete med British Aerospace 1995

Efter långa förhandlingar bildade Saab och British Aerospace, BAe, 1995 ett s k joint venturebolag, Saab-BAe Gripen AB. Företagen ska gemensamt marknadsföra, exportanpassa, tillverka och ge kundstöd för Gripen på exportmarknaden. Det innebar en ny fas i Gripenprogrammet, där export för första gången blir styrande för utformningen. Målsättningen är att ta ca 20 procent av tillgänglig exportmarknad, vilket innebär ca 400 flygplan. Första kunden blev i september 1999 Sydafrika.

Avtal 1997

I juni 1997 beslutade regeringen om en tredje delserie om 64 flygplan och ett vidareutvecklings- och anpassningsprogram. Därmed är produktionen planerad att pågå för Sverige fram till 2007.

Saab-BAe utvecklar parallellt en exportversion.

Allmän teknisk utveckling

Vid starten av utvecklingsarbetet 1982 hade förberedelsearbetet bara pågått under drygt två år. Tidigare projektstudier av flygplan under 1970-talet hade varit inriktade mot underljudsflygplan för lätt attack och skolning. Gripen utgör en helt annan svårighetsgrad och teknisk nivå. De hårda kraven på höga prestanda i ett litet flygplan lämnade inget utrymme för misstag. På Saab saknades 1982 erforderlig konstruktionsstandard, CAD-system m m. Vi saknade också erfarenhet av elektriska styrsystem. På motsvarande sätt saknade Ericsson viktiga förutsättningar för att kunna utveckla den avancerade multimodradarn. Kort sagt – vi skulle ha behövt driva teknikstudier med experimentflygplan och förprojektstudier under lång tid före projektstarten.

Brister i förberedelserna innebar att vi fick ta en del risker och inteckna ny teknik, som inte var klar. Tack vare en kärna av mycket erfarna och kunniga konstruktörer gick det ändå att genomföra arbetet.

Generellt används modellering och simulering som utvecklingshjälpmedel. Saabs modellkoncept innebär att matematiska modeller byggs av delar, delsystem och även hela flygplanet. Dessa modeller verifieras och valideras under utprovningen i simulatorer, riggar och provflygplan. Model-

lerna uppdateras successivt under arbetets gång och representerar senare väl det verkliga systemet.

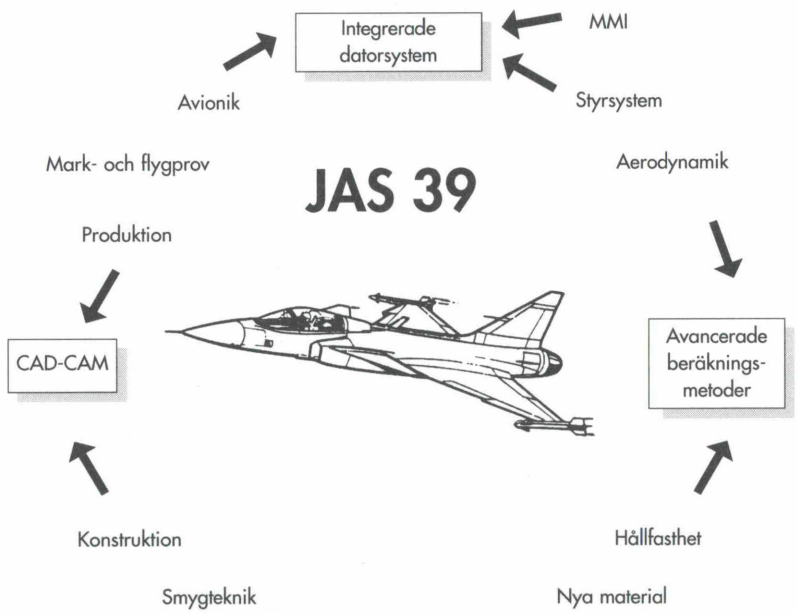
Läget 1992 då 39B-utvecklingen påbörjades var helt annorlunda än 1982. Vi hade haft lång tid för förberedelser, kunskapen om det ensitsiga flygplanet var god och den tekniska utvecklingen inom IT hjälpte till. Vi hade redan före projektstarten kunnat bygga upp avancerade modeller. Det bidrog till att vi aldrig fick några allvarliga problem i utvecklingsarbetet jämförbara med 39A.

En översikt av de tekniska områden som krävde mest utveckling på Saab visas i *figur 3.*

Aerodynamik och styrsystem

För att möta prestandakraven på Gripen måste vikt, luftmotstånd, tyngdpunkt, tryckcentrum, bränsletyngdpunkt m m ligga inom snävt definierade gränser. Och dessutom måste alla installerade system få plats på rätt ställe. Valet av flygplanets konfiguration var kritisk för att kunna uppnå alla krav. Projektstudier och beräkningar genomfördes och resulterade i att en nosvingekonfiguration med reducerad statisk stabilitet valdes och därefter

Figur 3.
Utvecklingsbehoven.



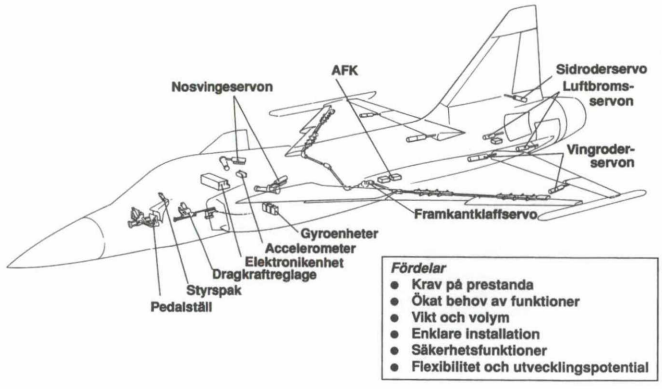
successivt finslipades. Dimensionerande krav var främst överljudsfart, svängprestanda, räckvidd och landning.

I början användes vindtunnelprov och beräkningar för att bestämma aerodynamiska data på de projektutkast som successivt togs fram. Beräkningarna förbättrades senare med s k CFD analyser (Computing Fluid Dynamics) som har utbredd användning för konstruktionsarbeten. Metoden används för beräkning av tryckfördelningen över flygplanskroppen med goda resultat.

Det elektriska styrsystemet har alltid varit ett kritiskt teknikområde, vilket illustreras av *figur 4*. Säkerhetskraven är höga, då eventuella fel i underljudsfart kan orsaka svåra haverier. Det som inträffade över Riddarfjärden i Stockholm 1993 indikerar vad som kan hända, även om det då berodde på att systemet inte var färdigutvecklat. Saab valde ett trekanaligt digitalt system med analog back up. Upphandlingen slutade med att Lear Siegler i USA valdes som leverantör av styrsystemets elektronikenhet, som integratör av servon, givare m m och som ansvarig för inbyggd test. Moog i USA utvecklade en ny typ av elektriska styrservon, som senare tillverkades av Saab. Styrspakens principuppbyggnad, en s k minispak, utvecklades i simulator på Saab och upphandlades senare från Page i Storbritannien.

Styrsystemutvecklingen blev mycket mer omfattande än vad vi föreställt oss från början. I synnerhet valideringen av programvara blev mödosam och tidskrävande.

Saab försökte få underleverantören Lear Siegler att uppfylla sin del av åtagandet, men blev till slut tvunget att ta över delar av Lears åtagande. Numera levererar Lockheed Martin styrsystemets elektronikenhet och Saab sköter systemutvecklingen.



Figur 4.
Det elektriska styrsystemet på JAS 39 Gripen.

För att skaffa erfarenhet av elektriska styrsystem och hanteringen av säkerhetskritiska funktioner genomfördes prov i ett hjälpprovflygplan – en ombyggd Viggen. Det gav Saab värdefull erfarenhet, men så här i efterhand är det lätt att inse att sådana prov borde ha skett flera år tidigare.

Flygplanskonstruktion

Flygplanets vikt måste hållas till ett minimum. Därför användes kolfiberkomposit i många skrovdelar – vingar, nosvingar, motor- och landställsluckor, fena m m. Sammanlagt ca 25 procent av skrovets vikt utgörs av kompositmaterial. I övrigt används moderna aluminiumlegeringar, sex procent titan och vissa andra kompositmaterial.

Utvecklingen av vingen var ett stort arbetspaket som upphandlades i internationell konkurrens. Saabs resurser räckte inte för att utveckla all kompositstruktur. British Aerospace vann och utvecklade i nära samarbete med Saab huvuddelen av vingen. Produktionen görs av Saab i en modern kompositverkstad. Det har gått bra att klara kompositproduktionen, trots den nya tekniken.

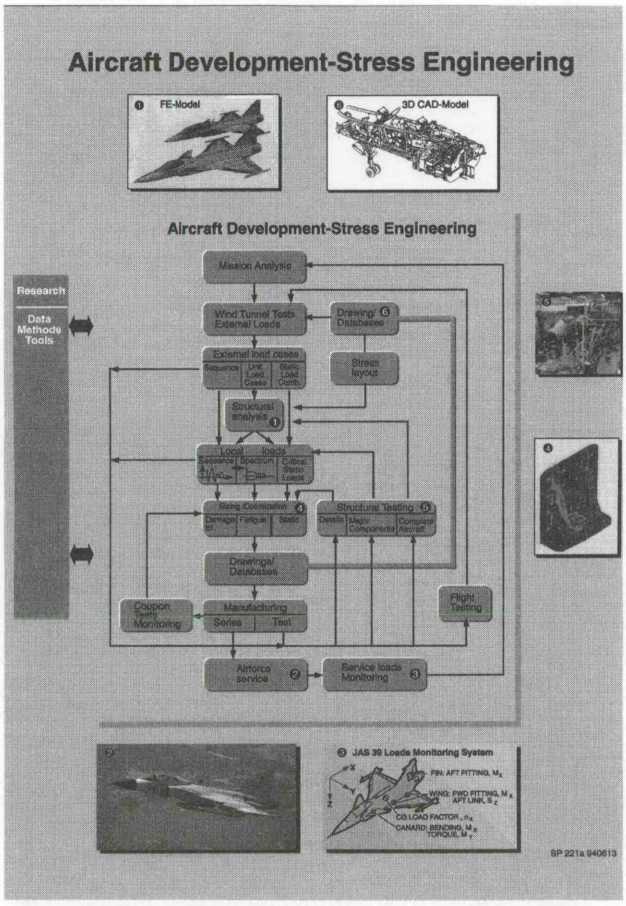
I början användes ritplankor i flygplankonstruktionen, men snart gick Saab över till CAD/CAM och datorer. Det innebar att noggrannheten i geometri och toleranser både för utveckling och produktion blev fullt tillräcklig. En stor fördel är att ändringar kan genomföras snabbt i både konstruktion och produktion. Och i flygindustrin är ändringar en väsentlig del av verksamheten. Effektiv ändringshantering bidrar till att minska genomloppstider och kostnader.

Nu används särskilda s k IPD-rum (Integrated Product Development) med en mängd bildskärmar för att koordinera utveckling och produktion.

Flygplanets konstruktion ska uppfylla en mängd krav på systemet. Smygteknik ingår i Gripen för att minska radarmålarean. Systemsäkerhet är ett annat drivande krav som genomsyrar hela konstruktionen.

Tvåsitsaren JAS 39B byggdes helt i CAD. En digital modell skapades av framkroppen med hundraprocentig tredimensionell modellering, i stället för att bygga en framkropp i trä och plåt. Resultaten är mycket bra. Metoden leder till färre konstruktionsändringar och god kvalitet i produktionen.

Hållfasthetsberäkningarna baseras på modeller av strukturen, analytiska modeller för prediktion av laster, aerodynamiska data samt flygplanets användningsprofil. Nytt är här kraven på skadetålighet på kritiska strukturdelar. Det innebär att man tillåter en initialspricka, som sedan inte får växa för snabbt. I serieflygplanen ingår givare som övervakar lasterna under flygning och man kan jämföra med prediktionen. Konceptet för håll-



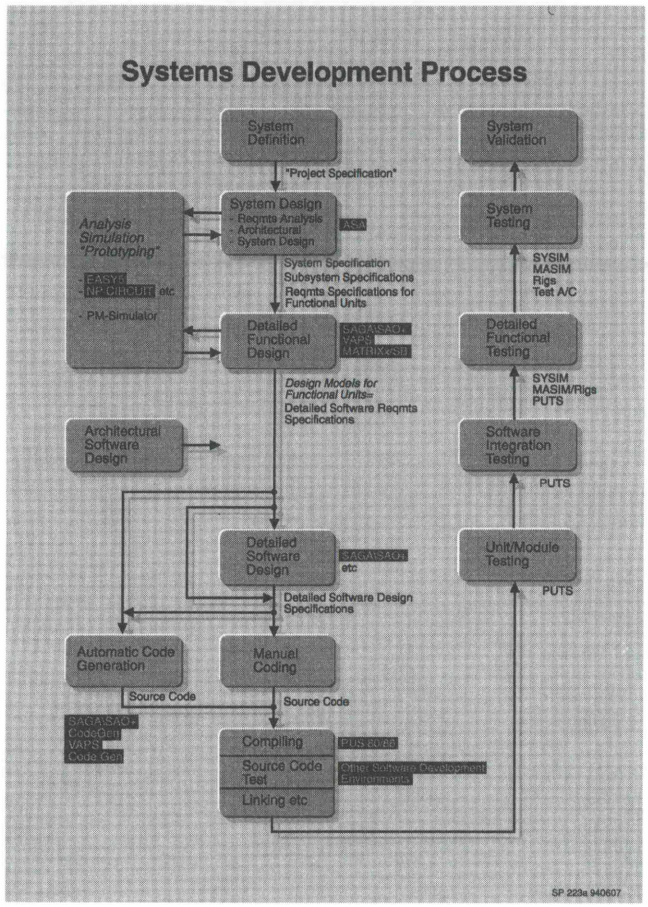
Figur 5.
Schema för hållfasthetsberäkning.

fasthetsberäkningar visas i *figur 5*. Den finns endast i en version på engelska, och ger en bild av huvudstrukturen i beräkningarna.

Motor

Som motor valdes en vidareutveckling av General Electrics F 404 motor, som i Gripenutförande kallas RM 12.

Motorn har hög drivkraft/viktförhållande och låg bränsleförbrukning. Drift- och underhållskostnader är låga jämfört med Viggen. Motorn vidareutvecklades och anpassades till svensk användningsprofil och installationen i Gripen av Volvo Aero och General Electric. Ökad tålighet för fågelkollisioner var ett dimensionerande krav som resulterade i omkonstruktion av fläktdelen.



Figur 6.
Schema för systemutvecklingen.

På senare tid har den digitala motorstyrningen utökats och förbättrats. Volvo Aero arbetar främst med teknik för att minska underhållskostnaderna.

Vapensystem

Allmänt

JAS 39 Gripen är ett flygande informations- och vapensystem utformat för att underlätta och effektivisera flygförarens = systemoperatörens arbete. Det innehåller avancerade sensorer och kraftfulla IT-hjälpmedel i olika delsystem, sammanknutna med databussar. Gripen är ett fjärde generationens flygplan, som bl a karakteriseras av att data kan utbytas mellan olika delsystem och helt nya funktioner kan genereras genom programvara. Systemutvecklingsprocessen som följs framgår i *figur 6,* som också finns endast på engelska.

Stor omsorg har lagts ned på att göra förarens arbetsplats så bra som möjligt.

För utveckling av taktisk programvara används IT-hjälpmedel, som virtuella prototypsystem, en presentations- och manövreringssimulator och taktiska simuleringar.

Radar

Radarn PS-05 har utvecklats av Ericsson Microwave Systems. Det är en avancerad pulsdopplerradar för jakt-, attack- och spaningsuppdrag med många olika moder och pulsrepeterfrekvenser. Radarn har hög uteffekt, väger ca 150 kg och är vätskekyld. Radarn ska klara att både spana och följa flera mål samtidigt. Digital teknik används i stor utsträckning. Signalbehandlingen för att undertrycka markekon och motverka fientlig störning har successivt utvecklats och förfinats. Det är den mest kraftfulla delen i Gripens datorsystem.

Beväpning

Gripen kan bära ca fem ton yttre vapen och laster i åtta balkar. Dessutom finns en 27 mm Mauser inbyggd automatkanon.

Från början konstruerades Gripen mot ett antal definierade dimensionerande vapenlaster, dels arvet av fortfarande använda vapensystem, dels en del nya vapen. Man insåg givetvis att vapenutvecklingen under en femtioårsperiod är omöjlig att förutse. Gränssnittet för dataöverföring från flygplanets systemdator till vapnen är standardiserat. Vissa fysiska gränser finns. I övrigt är hela Gripensystemet uppbyggt för att successivt kunna ta nya vapen och ny elektronik.

Jaktvapnen utgörs av en medeldistansrobot som heter RB 99 och en äldre Sidewinderversion, kallad RB 74. Attackvapen är Saab RBS 15 mot sjömål, RB 75 Maverick och bombkapsel BK 99 mot markmål.

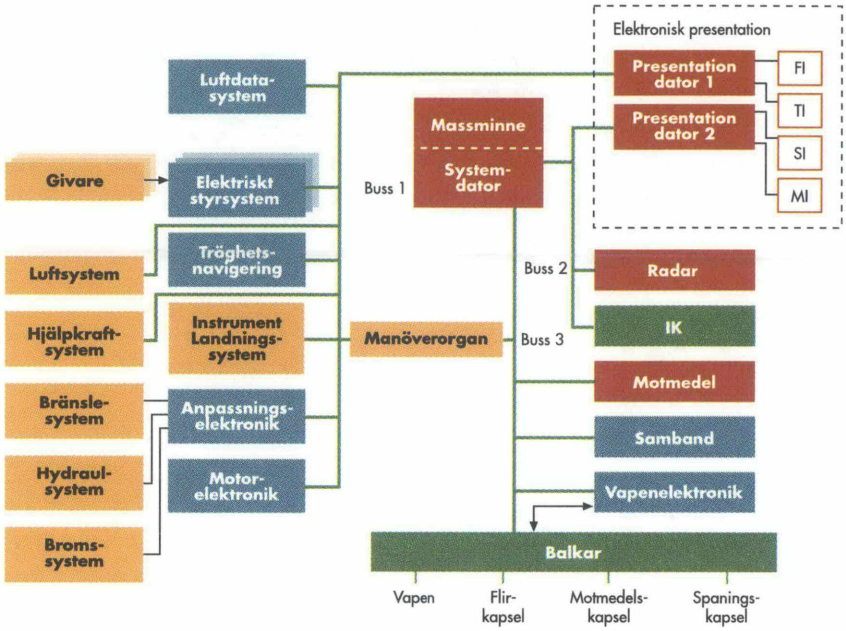
Sensorer för spaning är den inbyggda radarn och en elektrooptisk spaningskapsel, som ännu inte beställts.

Datorsystem

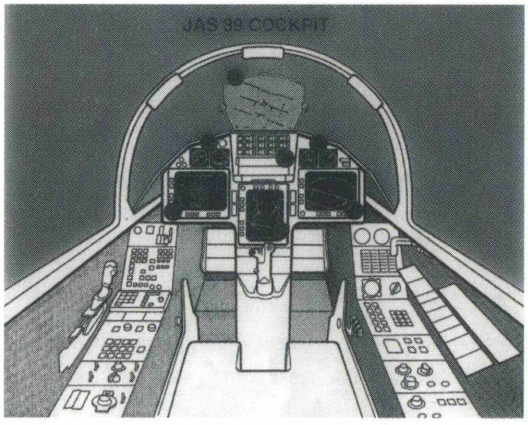
Gripen innehåller ett fyrtiotal datorer i olika delsystem. De används för övervakning, test, styrning och för att utföra systemfunktioner. Delsystemen är ihopkopplade med tre databussar. Systemdatorn håller ordning på systemets operationsmoder, håller takten i datasystemet och utgör flygförarens medspelare in i systemet. En översikt av systemet visas i *figur 7.*

Systemdatorn och standarddatorer på kretskort ingående i vissa delsystem som omprogrammeras ofta byggs av Ericsson Microwave Systems. Mjukvaran i systemdatorn och anpassningsenheter utvecklas av Saab. I

Figur 7.
Schema för elektroniksystemet.
TECKNING TOMAS MODIN



Figur 8.
Förarkabinen.
TECKNING TOMAS MODIN



stort sett alla datorer och minnen i hela systemet har ändrats och uppdaterats under utvecklingens gång, men det har ändå varit möjligt att behålla den ursprungliga systemarkitekturen, vilket är ett gott betyg för denna.

Presentation och manövrering

Flygföraren är ibland den begränsande faktorn i Gripen. Därför är det av utomordentlig betydelse att hans arbetsplats är väl utformad och att han får tillgång till just den information han behöver i varje fas i ett uppdrag.

Ett stort arbete har lagts ned på integrationen människa – system. I kabinen, *figur 8,* ser man tre bildskärmar och en siktlinjesindikator i det elektroniska presentationssystemet, som byggs av Ericsson Saab Avionics. Systemets manövrering och bildernas innehåll definieras av Saab.

Siktlinjesindikatorn är ett steg framåt i och med att den utnyttjar holografisk teknik i den genomskinliga linsen som föraren ser ut genom. Det ger stort momentant synfält och hög transmission genom glaset.

Utprovning

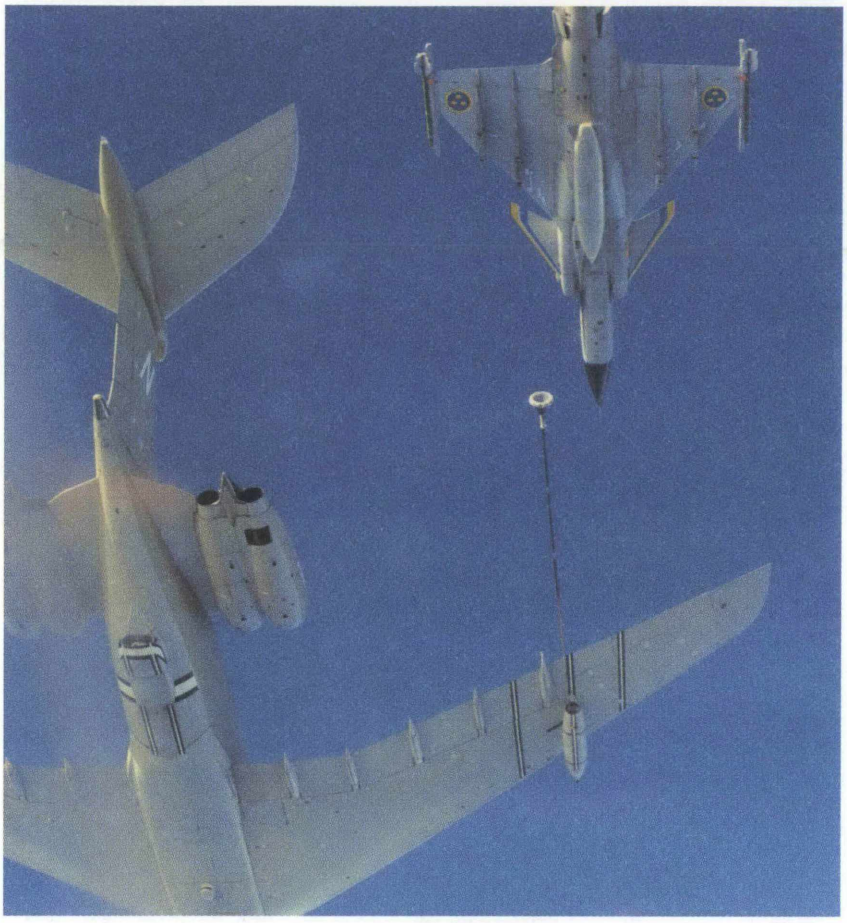
Utprovning och verifiering av hela systemet är ett omfattande arbete. Först utprovas respektive delsystem för sig i miljöprov, riggar och olika funktionsprov hos respektive leverantör m m. Programvaran utprovas därefter på Saab statiskt i programutvecklingssimulatorn och därefter i systemsimulatorn. Sedan är det dags för provflygplan. Även här används ny teknik. Mätsystemet i flygplanet och allt erforderligt mätkablage "kläms in" i befintliga utrymmen vilket inte är så enkelt som det låter. Saab använder telenät för att på marken i realtid kunna följa vad som händer i flygplanet och dess delsystem. Ett flygpass kan förtränas i systemsimulatorn genom uppkoppling till utvärderingscentralen. Man vet i förväg hur mätdata ska se ut från det riktiga flygpasset. Provningen kan ske i flera steg vid samma flygpass.

I början av utprovningen satt 40 ingenjörer och övervakade "sina" delsystem på marken i "Houston" som är namnet på Saabs flygprovcentral. Telemätsystemet och den snabba utvärderingen har höjt effektiviteten i flygutprovningen.

Det fortsatta programmet

1997 startades det svenska vidareutvecklingsprogrammet samt anpassningsprogram som förberedelse till eventuella framtida hot. Vidareutvecklingen sker för att klara nya svenska krav och för internationella insatser. Anpassningsprogrammen är hittills definierade för nya vapen, en ny radar samt vektorstyrning av motorns utloppsmunstycke.

Vapnen utgörs av en ny närstridsrobot, kallad IRIS – T, där utvecklingen pågår i internationellt samarbete med Tyskland, Norge, Italien, Spanien och Kanada. Den blir avsevärt bättre än nuvarande Sidewinder. Saab Dynamics svarar för delar av den optroniska målsökaren. En ny fjärrstridsrobot kallad Meteor behövs också. Den kommer att ge Gripen ett avsevärt lyft i stridsprestanda relativt konkurrenterna och behövs på sikt i det svenska luftförsvaret. Roboten ska utvecklas i internationellt samarbete



Figur 9.
Lufttankning.
FOTO BAE

med Storbritannien, Tyskland, Italien, Spanien och troligen Frankrike. Beslut är ännu ej fattat om utveckling eller om Sverige ska vara med. Saab Dynamics kan även här få en viktig roll i utvecklingsarbetet.

En ny generation av radar, en s k AESA, med hundratals sändar/mottagarelement i antennen och med elektroniskt styrd avsökning studeras av Ericsson Microwave Systems. Ett demonstrationsprogram har definierats.

För export förses Gripen med lufttankning, *figur 9,* ändrat luftsystem för varmare miljöer, nya vapen integreras och flygplanet NATO-anpassas med nya vapenbalkar m m.

REFERENSER

Eliasson, Gunnar (1995) *Teknologigenerator eller nationellt prestigeprojekt? – exemplet svensk flygindustri.* Stockholm.