

ELEKTRISK MILJÖ

UTVECKLING OCH TYPARBETE FÖR JAS 39 GRIPEN

Av Bo Wahlgren



Inledning - tidigare erfarenhet

Elmiljöverksamhet i nämnvärd utsträckning bedrevs, främst av personal från Ericsson, på de sista versionerna av flygplan 35. Då hade komplexiteten i el- och elektroniksystemen nått en sådan nivå, att det var omöjligt att konstruera ett fungerande system utan att aktiva åtgärder vidtogs för att tillförsäkra systemet elektromagnetisk samfunktion (Electro Magnetic Compatibility; EMC).

Inom Saab startade elmiljöverksamhet på flygplan AJ 37, speciellt efter det att en särskild elmiljögrupp hade bildats 1965. Verksamheten var av karaktären EMC inklusive verksamhet för att undvika så kallade telekonflikter. De sistnämnda uppkommer då avsiktligt utsänd effekt från en sändare via antenner når en mottagare och stör dess funktion. Även för flygplan S 37 och JA 37 bedrevs uteslutande EMC-verksamhet.

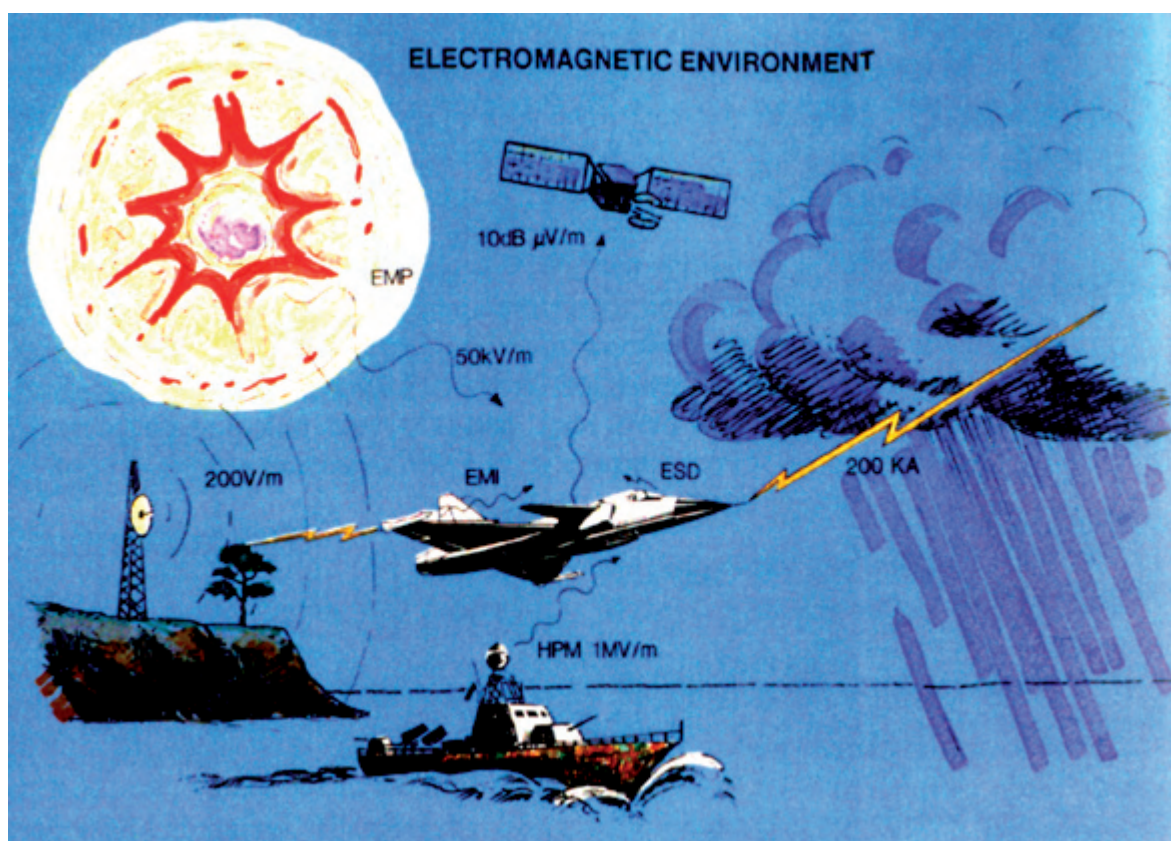
I slutet av 1960-talet inträffade en allvarlig incident då ett Lansen-flygplan nästan havererade p.g.a. blixtrträff. Blixten hade då träffat fenspetsantennen, varvid denna hade exploderat och därvid också allvarligt skadat fenstrukturen. Piloten lyckades med viss svårighet landa. Vi misslyckades då att få projektledningen på Saab och Kungliga Flygförvaltningen (KFF) att godkänna införande av blixttålighetsåtgärder på flygplanet. Det dröjde sedan ända till i början av oktober 1978 innan ett Viggen-flygplan träffades så allvarligt av blixten att det havererade. Blixten träffade pitotröret, varvid elledningen för uppvärmning exploderade och förgasades i

radomutrymmet. Det höga trycket förorsakade omfattande mekaniska skador, som medförde att en lucka i nosen lossnade och sögs in i luftintaget, då piloten fällde ut landningsstället. Cirka en vecka senare höll ytterligare ett Viggen-flygplan på att haverera, även det på grund av blixtrträff i pitotröret. Vi definierade och införde därpå blixtskyddsåtgärder i flygplan 37.

Under 1978 pågick hos Grumman, Long Island, utveckling av en kompositfena till Viggen. Prototypfenan försågs även med blixtskydd av olika slag. Vi provade senare hela fenan hos Culham Lightning Studies Unit (CLSU) i Storbritannien och utvärderade de olika skyddsåtgärderna.

Som en följd av Viggenhaveriet genomförde vi i början av 1981 blixtprovning av 37-1 i en hangar på FMV-F:FC i Malmslätt. Vi lånade då en blixthet och kunnig personal från CLSU. Provnings genomfördes med blixtrömmar upp till 200 kA, som anses vara den maximalt förekommande.

Vi bedrev, i samarbete med FMV och FOA, studier beträffande den elektromagnetiska puls som genereras då en kärnladdning exploderar på hög höjd utanför jordens atmosfär, så kallad höghöjds-EMP, se figurer 2-3. En sådan puls kan få en mycket hög toppfältstyrka (typiskt 50 kV/m, figur 3) och ett geografiskt mycket stort utbredningsområde, figur 2. Inom FMV och FOA studerade man också möjlig-



Figur 1. Elektromagnetisk miljö.

heten att i Sverige anskaffa och uppföra stora EMP-simulatorer. Sådana uppfördes senare på FMV: Prov i Malmslätt.

Genom våra goda kontakter med US Air Force hade vi fått information om att ett F-16 flygplan med analogt styrsystem hade råkat ut för en allvarlig incident vid överflygning av en kraftig radiosändare i Nederländerna. Detta tillsammans med vissa erfarenheter från flygplan 37 av störningar från radiosändare, t.ex. fenomenet som vi kallade "Fly by voice", föranledde omfattande studier av det som senare internationellt kom att benämnas "High Intensity Radiated Fields" eller förkortat till HIRF.

Den elektriska fältstyrkan kan uppgå till storleksordningen 200 V/m i närheten av de kraftigaste kort- och mellanvågssändarna och till 15 – 50 kV/m i närheten av de kraftigaste TV- och radarsändarna.

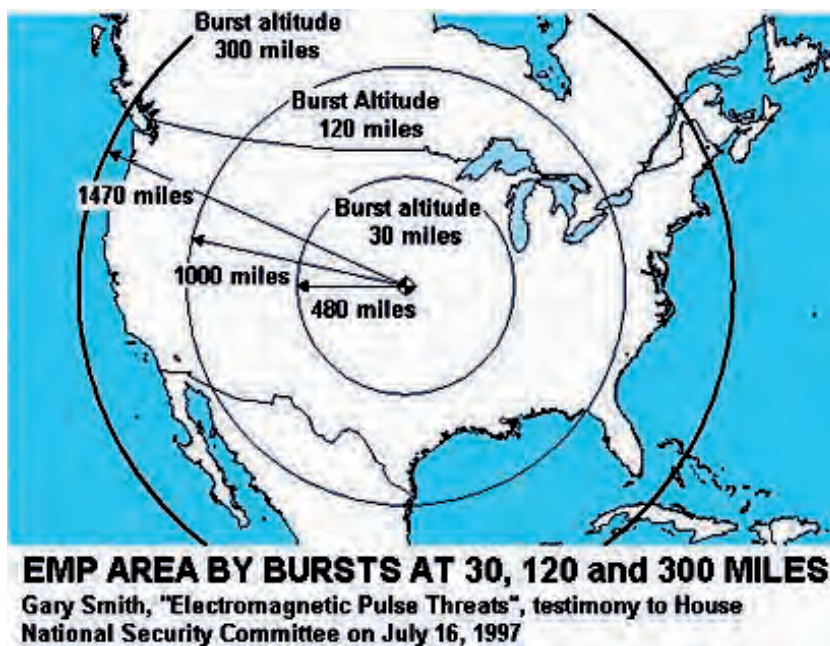
Gripenarbete

Under 1979 började vi arbeta med JAS 39 Gripen. Inom "el-miljö" (se figur 1) bedrev vi från och med denna tidpunkt omfattande arbete med:

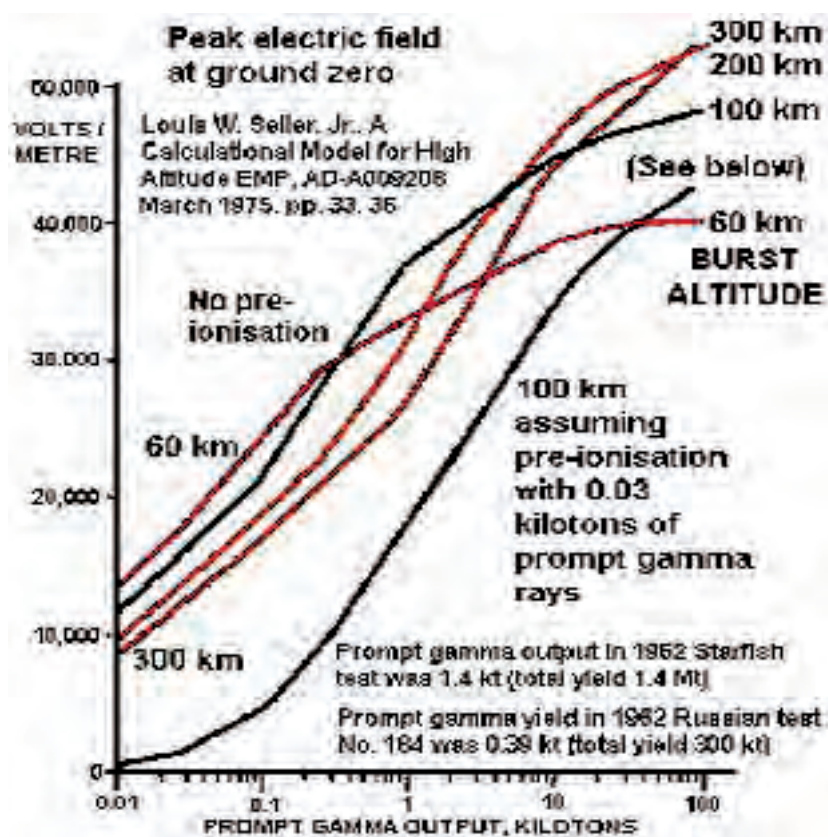
- Elektromagnetisk samfunktion (Electro-Magnetic Compatibility; EMC) inklusive telekonflikter.

- Elektromagnetisk signatur.
- Urladdning av statisk elektricitet (Electro-Static Discharge; ESD).
- Blixtrträff i flygplanet.
- Höghöjds-EMP.
- Strålning från radio- och radarsändare (High Intensity Radiated Fields; HIRF).
- "High Power Microwaves" (HPM), d.v.s. strålning från speciellt utvecklade mikrovågsvapen.
- Kosmisk strålning, d.v.s. partikelflöde och joniserande strålning från solen och universum.
- Kärnvapeneffekter (KV) orsakade främst av joniserande strålning, d.v.s. gamma och neutronstrålning, men även av stötvåg och termisk strålning.

Gripens avancerade konstruktion med mycket kolfiberkomposit i strukturen och speciellt då i vingkonstruktionen, reducerad statisk stabilitet,



Figur 2. Markutbredning av EMP från nukleär höghöjdsexplosion på olika höjder.



Figur 3. Maximal markfältstyrka (V/m) för kärnladdning på olika explosionshöjder.

elektriskt styrsystem och även i övrigt många elektroniksystem med flygsäkerhetskritisk funktion, gjorde att de olika elmiljöfaktorerna fick en avsevärt ökad betydelse för flygplanets luftvärdighet. Vidare ställde naturligtvis Flygvapnet och FMV höga krav på flygplanets operativa förmåga och tålighet. Detta avspeglades i att kraven i flygplanets huvudspecifikation blev omfattande och mycket hårda. Vid diskussioner med våra utländska kontakter framgick det, att det knappast inom västvärlden fanns ett befintligt eller påbörjat flygplanprojekt med motsvarande formella elmiljökrav.

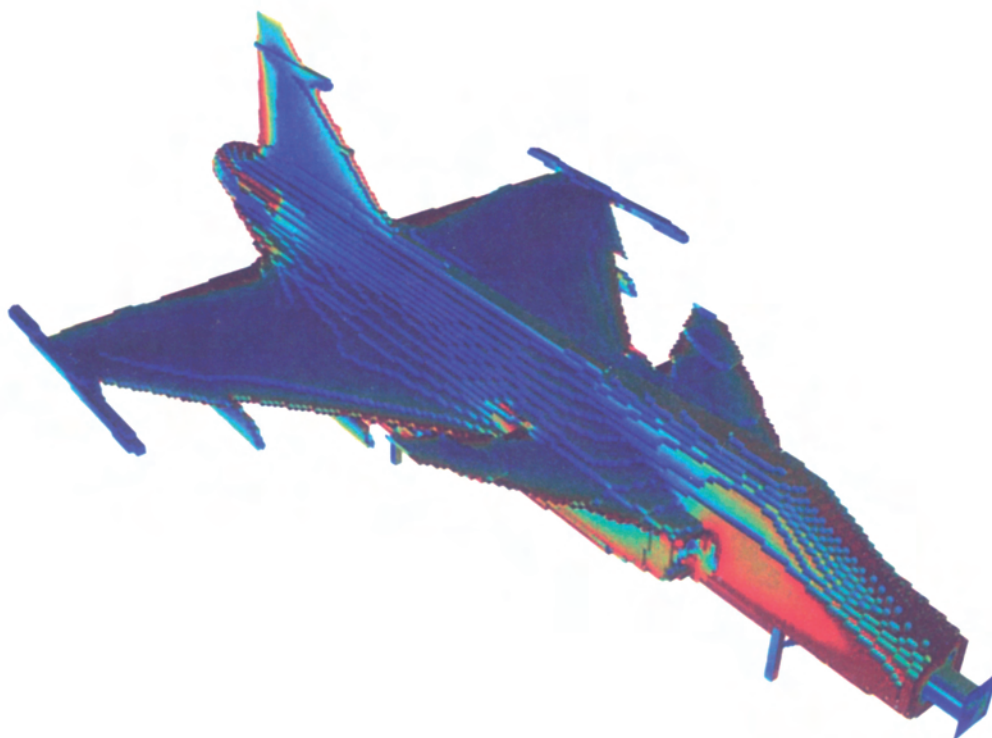
Samarbetet med Rockwell International Corporation (RIC) i Los Angeles under 1980-82 beträffande en avancerad vingkonstruktion för Gripen innefattade även elmiljö, EMP och KV. RIC utvecklade då flygplan B-1, i vars konstruktion vi fick viss värdefull insyn.

Under samma period som vi samarbetade med RIC, hade vi också omfattande samarbete med Messerschmitt Bölkow Blohm (MBB) i Otto-brunn och med Dikewood i Los Angeles.

Inledningsvis definierade vi tillsammans med FMV och FOA det taktiska KV-hotet mot flygvapenbaser, vilket då främst utgjordes av

kärnvapenbestyckade meddeldistansrobotar. Sådana, av bland andra typen SS22, fanns utplacerade i vårt närområde i Sovjetunionen och var delvis riktade mot våra flygbaser. Slutrapporten av detta arbete användes sedan för att, tillsammans med Högkvarteret och FMV, definiera kraven på flygplanet.

För att underlätta konstruktions- och verifieringsarbetet beslöt vi oss för att anskaffa avancerade numeriska beräkningsmetoder av typen Finite Difference Time Domain (FDTD). Med sådana program kan man lösa Maxwells ekvationer för elektromagnetiska fält utanför och inuti ett flygplan, se figur 4. Vi utvärderade därför under 1982 dylika program från flera tänkbara leverantörer i USA. Vid förhandlingar om exportlicens fick vår valda leverantör, Electro Magnetic Applications i Albuquerque, hjälp av svenska militärattachén och lyckades efter nio månader få licensen. Programmen levererades till oss 1983 och vi var då troligen först i Europa med att använda denna typ av avancerade numeriska beräkningsprogram. Figur 4 visar resultatet av beräkning av elektriska strömmar i flygplanets yttre struktur förorsakade av blixtrträff i flygplanet.



Figur 4. Strömberäkning med finit-differens-teknik för blixtrträff.

Elektrisk miljö

Vi utarbetade, antog och tillämpade en utvecklingsmodell för elektromagnetisk teknik. Det första steget i modellen utgjordes av datorsimuleringar (Computational Electromagnetics; CEM), vilka samverkade med systemintegration, aerodynamik- och strukturutveckling samt installation i en multidisciplinär optimeringsprocess. Därefter följde kravdefinition, konstruktion, granskningsverksamhet samt provning av detaljer, utrustning och delsystem, allt i samverkan med utvecklingen av grundflygplanet och dess system. Verifiering av luftvärdighet och senare av typvärdigheten genomfördes på komplett flygplan samt med omfattande datorsimuleringar (CEM). Slutligen utvärderades resultaten från hela typarbetet, vilket resulterade i typgodkännande.

Utvecklingsmodellen utgår från att den information som erhålls från provning av apparater och delsystem eller ett komplett flygplan inte är tillräcklig för verifiering av flygplanssystemets egenskaper ur elmiljösynpunkt. Därför ingår i utvecklingsmodellen kontinuerlig konstruktionskontroll under hela utvecklingsfasen av apparater, delsystem, installation, mekaniska konstruktionsdetaljer och slutligen sammanbyggnad av komplett flygplan.

En arbetsgrupp, Ag ELMILJÖ, med deltagande från FMV och övriga företag inom IG JAS, utgjorde under hela typarbetsfasen forum för behandling, rapportering och beslut i frågor rörande elmiljö för hela projektet.

Flygplanet indelades ur elmiljösynpunkt i fyra zoner med hänsyn till hur väl skyddad utrustningen och dess kablage är för externa fält. Sålunda finns en speciellt väl skärmd zon, en zon innanför konventionellt konstruerad aluminiumstruktur, en zon innanför struktur av kolfiberkomposit och en zon utanför flygplanets skärmande struktur. I de flesta zonerna är kablaget försett med en yttre skärm. Vidare används olika typer av filter och transientskydd, filter-skarvdon samt elektriskt ledande packningar.

Arbetet med att blixtskydda Gripens vinge påbörjades den 2 februari 1983. British Aerospace (BAe) visade sig ha en begränsad erfarenhet av blix och blixtskydd. Vingens konstruktion är kritisk ur blixsynpunkt eftersom ytterskalet består av kolfiberkomposit och därmed har en cirka 1000 gånger högre resistivitet än om det bestod

av aluminium. Detta medför risk för gnistbildning inuti vingen med påföljande antändning och explosion av bränslet. Av denna anledning konstruerades alla fästbultar, bränslerör, bränslemätprobar mm. på ett sådant sätt, att risken för gnistbildning minimerades.

För verifiering av blixtskyddet provade BAe ett stort antal konstruktionsdetaljer. Vidare konstruerades och tillverkades en speciell vingbox avsedd för analyser och provning. Den utgjordes av en vingsektion med riktig balk- och skalstruktur och med all i vingen förekommande installation representerad. Även provflygplanens mätinstallation fanns med. Såväl den fullskaliga vingen som vingboxen blev sedan föremål för omfattande datorsimuleringar (CEM). Resultaten jämfördes, extrapolerades och korrelerades. Slutligen utsattes vingboxen för fullskalig blixtprovning. Även på den kompletta vingen gjorde vi vissa lågnivåmätningar. Resultaten visade, att vingen med god marginal klarade en blixträff utan att gnistbildning uppstod i bränsletanken eller andra termiska eller oacceptabla mekaniska skador uppstod.

Vi påbörjade 1983 ett långt samarbete med BAe i Bracknell vad beträffar KV och framför allt joniserande strålning. Genom detta samarbete kunde vi erhålla erforderlig information om tåligheten mot joniserande strålning hos ungefär 300 halvledarkomponenter. Vidare genomförde vi provning av mer än 200 halvledarkomponenter i simulatorer och i strålningskällor av typen linjär accelerator (LINAC). Informationen samlade vi sedan i en nationell komponentdatabas, som administrerades av oss och utnyttjades även av annan försvarsindustri i Sverige.

Den 6 juli 1984 havererade ett tyskt Tornado-flygplan då det, på låg höjd, passerade kortvågssändaren för Radio Free Europe i Holzkirchen utanför München. Inofficiellt berodde detta haveri på att terrängföljningssystemet inte var tillräckligt tåligt mot HIRF (High Intensity Radiated Fields). Det föranledde dock stor aktivitet inom området HIRF i Västtyskland. Bland annat byggdes en mycket stor simulator för provning av flygplan då de exponeras för höga fältstyrkor av kortvågssfrekvens.

Vi påbörjade anskaffning av en blixgenerator från Haefely i Basel, Schweiz, under andra halvåret 1985 för leverans andra halvåret 1986. Denna hade då, och har kanske fortfarande, unika

egenskaper vad beträffar blixtrömmens andra-derivata och även det elektriska fältets första och andra derivata.

På grund av styrsystemets (SA10) avgörande påverkan på flygplanets luftvärdighet övervakade vi, tillsammans med en representant för FMV, hela elmiljöprovningen av det. Denna genomfördes av leverantören Lear Siegler hos Genisco i Los Angeles området. Provningsen, som oftast bedrevs i flera skift, pågick i ungefär tre månader. Vi hade under hela denna tid personal närvarande.

I början av april 1988 genomförde vi luftvärdighetsprovning avseende elmiljö (inklusive blix och HIRF) av flygplan 39-1. Detta skedde under åtta hektiska dagar med treskiftsarbete dygnet runt inklusive lördag och söndag. Platsen för provningen var Grinilada 2, vilken även användes vid ytterligare tillfällen för elmiljöprovning av Gripen. Ladan var en av tre betongbyggnader, numera rivna, som uppfördes under andra världskriget. Resultatet av provningen var godkänt!

Vi påbörjade anskaffning av en provningsanläggning avseende mikrovågsstrålning (Microwave Test Facility; MTF) från huvudleverantören Titan Beta i Dublin, Californien, under andra halvåret 1990. Anläggningen, som är transportabel, var och är troligen fortfarande unik i världen. Den har mycket höga prestanda på fem diskreta frekvenser inom frekvensbanden L, S, C, X och Ku. Med MTF kunde vi simulera såväl HIRF som HPM upp till en fältstyrka på 80 kV/m. Vid provning av provflygplan 39-3 visade det sig, att flygplanet med dess ordinarie installation klarade proven utan problem, medan det blev utfall för den avsiktligt sämre skyddade mätinstallationen. Detta visade, att de i flygplanet tillämpade skyddsmetoderna var väl avvägda och nödvändiga för att det skulle klara uppställda krav.

Elmiljöprovning av komplett flygplan avseende typvärdighet genomfördes på såväl provflygplan som serieflygplan med följande omfattning:

- EMC inklusive telekonflikter.
- Elektromagnetisk signatur.
- ESD.

- Blixt.
- EMP.
- HIRF.

Effekterna av urladdning av statisk elektricitet (ESD) kontrollerades dels genom att urladdningsströmmar, från till exempel pitotröret samt fen- och vingspetsar, genererades med hjälp av högspänning och dels genom att elektriskt laddade ispartiklar sprutades på isolerade ytor.

För blixtprovning anslöts blixtpgeneratorn till flygplanets nos och ett återledarsystem byggdes upp koaxiellt med flygplanet för att återföra stötströmmen till blixtpgeneratorn. Uppmätta spänningar och strömmar inuti flygplanet extrapolerades sedan matematiskt till kravnivåerna.

HIRF-provning för frekvenser upp till några hundra megahertz genomförde vi med en internationellt utvecklad mätmetod kallad "Low Level Swept Current" (LLSC), som vi vidareutvecklade. Provningsen tillgick så att högfrekvent ström injicerades i flygplanstrukturen, huvudsakligen på liknande sätt och med samma återledarsystem som vid blixtprovningen. Spänningar och strömmar inuti flygplanet mättes och extrapolerades sedan matematiskt till kravnivåerna.

HIRF-provning för mikrovågsfrekvenser genomförde vi med två metoder. För provning vid fem diskreta frekvenser till kravnivå använde vi MTF (se figur 5) och för lågnivåprovning över hela frekvensområdet använde vi en egenutvecklad metod kallad "Low Level Swept Fields" (LLSF). Denna tillgick så att vi bestrålade känsliga partier av strukturen med fält från våra vanliga mikrovågsgeneratorer för laboratoriebruk. Spänningar och strömmar inuti flygplanet mättes och extrapolerades sedan matematiskt till kravnivåerna.

Resultaten från ovannämnda provning sammanställde vi med resultaten från övrig elmiljöverksamhet i form av granskning och provning från hela typarbetet och utvärderade. På så sätt verifierade vi, att de i PS (Projektspecifikationen) uppställda kraven uppfylldes för Gripen, vilket resulterade i typgodkännande.

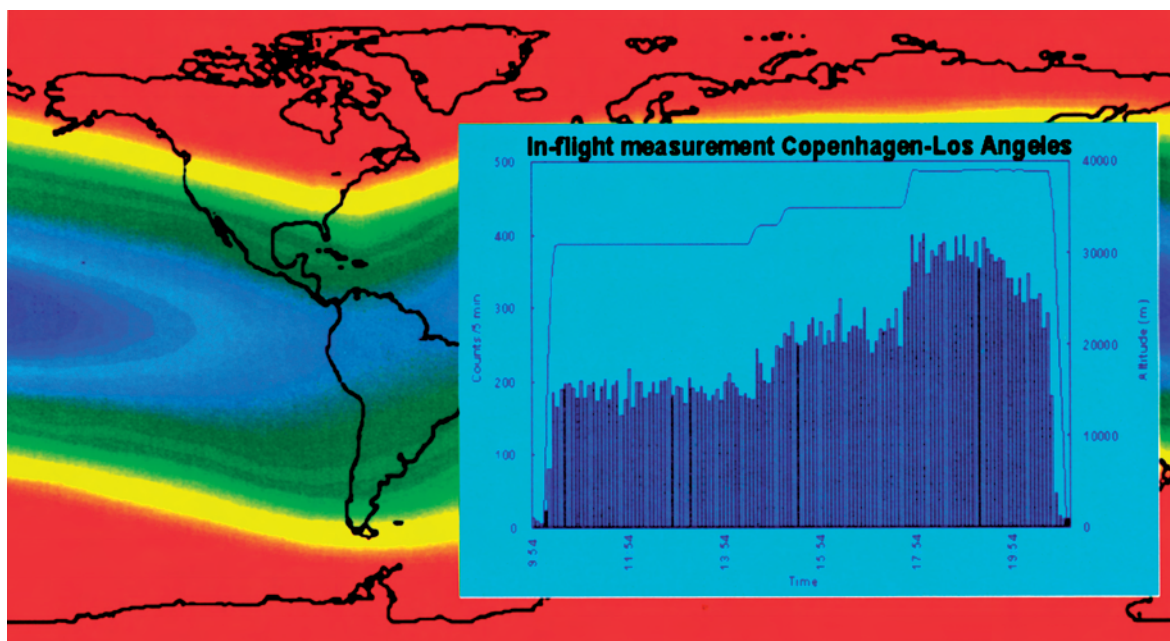
För kompletterande provning av delsystem, utrustning och komponenter, men även av kompletta vapen, lät vi bygga en så kallad modväxlande kammare (Mode Stirred Chamber).

Denna utgjordes av ett svetsat aluminiumrum i vilket mikrovågsstrålning fördes in via antennhorn. De genererade fälten "rördes sedan om" av sakta roterande aluminiumskovlar. På så sätt skapade vi mycket höga fältstyrkor, som dessutom träffade provobjektet i alla tänkbara infallsvinklar på kort tid.

Successivt byggde vi upp vår kompetens inom området kosmisk strålning på representativa flyghöjder till en nivå i världstopp. Detta skedde inledningsvis under medverkan av ett konsultföretag i USA, men inriktades senare på samarbete med Defence Research Agency (DRA) i Storbritannien. Kosmisk strålning och



Figur 5. MTF-testning av Gripen.



Figur 6. Geografisk variation av kosmisk strålning.

dess effekter (Single Event Effects) på satellithöjd samt skyddsmetoder var sedan länge väl kända, däremot var inte detta fallet på flyghöjd. Vi kartlade strålningsnivåerna i samverkan med DRA och SAS genom att ha en av oss utvecklad detektorutrustning installerad på ett av SAS linjeflygplan av typen Boeing 767, som flög på hög latitud mellan Skandinavien och USA (se figur 6). Vi genomförde även provning av vissa halvledarkomponenter i bland annat kraftiga partikelacceleratorer. Resultatet av detta arbete utnyttjades av leverantörer av elektronikutrustning med vissa komplexa minnesmoduler, som hade noterat omslag i minnesceller, troligen orsakade av kosmiska partiklar.

Inom området radarmålarea samverkade vi med Saab Dynamics, som främst svarade för mättekniken. Vi använde våra avancerade beräkningsmetoder för att bland annat med hjälp av CRAY C90 och T3E räkna ut radarmålarean för flygplandelar och göra optimeringsstudier.

Resultaten verifierades sedan i den stora anläggningen på Saab för uppmätning av radarmålarea på komplett flygplan.

Definitions- och typutvecklingsarbetet omfattade uppskattningsvis 80 till 90 månår inom Saab. Därutöver tillkom kostnader för anskaffning av erforderliga verktyg. Vi bedömer, att det kunande vi byggde upp under definitionsarbetet var nödvändigt för att vi skulle kunna åta oss kraven i PS. Vidare bedömer vi att insatsen under typarbetet och anskaffningen av verktyg var såväl nödvändiga som tillräckliga för att elmiljösäkra Gripen och verifiera kraven i PS.

Om författaren Bo Wahlgren

Födelseort och utbildning

Född i Halmstad 4 december 1937.

Civilingenjör på Chalmers, 1965.

Anställning och arbetsfunktion

Anställd på Saab, Central Beredning System 37, 1965.

Sektionschef för installation och elmiljö, 1977.

Chef för Elmiljökontoret på Flygdivisionen, 1988.

Tjänsteförrättande och ställföreträdande chef för Systemavdelningen, 1991.

Chef för kontoret för miljö- och apparatteknik, 1994.

Chef för division Elektromagnetisk Teknik på Ericsson Saab Avionics, 1997.

Internationella engagemang

Senior Member of IEEE 1991. Member of ARAC/TAES/EEHWG, Electromagnetic Effects Harmonization Working Group of the Transport Aircraft and Engine Subcommittee, organized under the FAA Aviation Regulatory Advisory Committee and Deputy European Co-chairman for EEHWG/ARAC committee 1993. Project Director of EU-project CATE, 1996 – 1999 and of EU-project EM-Haz 2000-2001.

Utmärkelse

Erhöll Flygtekniska Föreningens Thulinmedalj i silver för betydande insatser inom området elektromagnetisk miljö 2003.

Övrigt

Startade verksamhet för Veteranpoolen i Motala/Vadstena 2008.