Teknik på djupet med Jörgen Städje

TEKNIKALITETER

UNIK SPECIAL TIDNING FRÅN TECHWORLD / PRIS 199 KR / #4 2015

+

Joint European Torus
SMHI
CERN-serien
Spaceship on a chip
Flygledning och flygning-serien
Gripen-serien

210 SIDOR

BARA TEKNIK

29 reportage med hårdkokt fakta

Intro

Tekniksuget vaknar igen

Nu är det dags igen. Vi har plockat nya godbitar ur min tidigare produktion, som totalt belöper sig till ett tusental teknikartiklar. Det finns alltså åtskilligt flera russin att plocka ur kakan.

Denna gång får du läsa om allt från apparater på flera mils storlek, ned till apparater som är så små att de får plats i hörselsnäckan. Och ja, jag har argument för att Sverige ska ägna sig åt rymdforskning och flyga ut i solsystemet. Mot KTH och vidareee!

För dig som har sett Teknikaliteter förut vill jag bara säga: Välkommen tillbaka. För dig som inte gjort det, kan det passa med lite historik.

Det är väl bara att konstatera att människor gillar mina artiklar. Det har väl något med tekniskt djup, sanningshalt, ånglok eller något i den stilen att göra. Det gick så långt att de som kommenterade artiklarna i IDG:s kommentarsfora skrev "jag betalar gärna en extra slant för att få läsa fler av Städjes artiklar" och det tyckte TechWorld-redaktionen var så bra att man skulle försöka göra en specialtidning med bara mina alster. Det första trycket var på 2 500 exemplar och det sålde slut på 8 timmar. Ett vinnande koncept således.

Pang! Boom! Sju teraelektronvolt! En del av denna utgåva ägnas åt Cern (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) och LHC-acceleratorn, eller närmare bestämt detektorn Atlas (A Toroidal LHC Apparatus, usel förkortning) som jag har fått följa från att den byggdes år 2008 fram tills att man hittade sin kära Higgspartikel år 2012. Jag var där och fick se uppbyggnaden av de åtta toroidmagneterna och fick klämma på supraledarna.

Artikelserien slutar med att en lektor i elementarpartikelfysik vid Stockholms universitet förklarar hur man till sist, på statistisk väg, kom fram till att man faktiskt sett en partikel med 125 gigaelektronvolt energi. Peter Higgs klappade i händerna och höstade in ett nobelpris.

Vad man ska ha Higgspartikeln till är dock höljt i dunkel, annat än att komplettera standardmodellen över alla elementarpartiklar, så man kan vara säker på att universum inte faller ihop. Nu krockar LHC vidare med 14 teraelektronvolt och ska försöka hitta den mörka materien.

Än så länge har vi ingen Iter-reaktor i Frankrike som kan göra elektrisk ström av havsvatten, men den ska stå klar år 2018. Fusionsreaktorn Jet (Joint European Torus) är föregångaren till Iter, i vilken forskarna lärt sig om plasma och hur man ska hantera deuterium och tritium och hur man bäst får upp det i 300 miljoner grader för att få igång reaktionen som göra oss oberoende av alla andra energikällor för alltid.

Det där kunde jag inte motstå, utan for till Jet i Culham utanför Oxford år 2004. Just den dagen hade ett elektronrör stort som en papperskorg brunnit upp i en av radiosändarna som hettade upp plasmat. Men det var kul det också.

Stridsflygplanet Gripen är utan tvekan något av det finaste svensk industri har producerat. Jag ber att få citera mig själv med orden "Som det brukar gå när svenska företag arbetar med något innovativt, så blev det en produkt i världsklass". I den första artikeln beskrivs flygplanets datorsystem och den andra beskriver motorn, den numera ganska svenska Reaktionsmotor 12. Den tredje är en sammanfattning av Nätverk & Kommunikations mässmonter på Computer World Expo 2000 i Älvsjö, där vi fick låna en fullskale-

> "Stridsflygplanet Gripen är utan tvekan något av det finaste svensk industri har producerat."

Intro

”SMHI får skäll för att de inte kan spå väder ... I själva verket har de inte stor chans mot det kaos som är en del av luftens konvektion.”

modell av Gripen bara för att de gillade artikeln så mycket. Tänk om vi skulle få låna en fullskalemodell av korvetten Visby också?

För att nu fortsätta med flygning så kan jag utan vidare påstå att jag gillar tekniken bakom! I förra Teknikaliteter hade vi den historiska artikeln om gamla flygledningen ATCC på Arlanda, och i denna utgåva tar vi med artikeln om den uppgraderade versionen. Detta följs av en serie artiklar om hur man flyger trafikflygplan och alltså använder sig av flygledningens tjänster.

Utöver Gripen har Sveriges försvar en stolthet till: brandväggen Färisten. En liten låda baserad på FreeBSD, helt svenskutvecklad. Den använder Försvarsmakten lite var stans när man vill hålla förbindelser hemliga. Jag var en sväng hos Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, som berättade så mycket de vågade om konstruktionen.

Kiselkarbid är ett halvledarmaterial med framtiden för sig, hårt som diamant. Kisel är inte särskilt lyckat om man ska mäta och behandla driftdata inuti en gasturbinmotor där allting glöder, men kiselkarbiden myser och trivs. KTH håller på att utveckla sensorer, förstärkare och mikroprocessorer i materialet som ska tåla klimatet på planeten Venus, och undertecknad har deltagit i konstruktionen av själva landaren. Det finns ingen anledning att skicka dit elektronik inbyggd i kylskåp, om man kan bygga datorer, ccd-kameror och radiosändare som klarar yttemperaturen på 450 grader direkt.

Medicin har alltid roat mig. I artikeln om cochleaimplantat, alltså implantat inuti hörselsnäckan, få du följa med till en läkare på Huddinge sjukhus som har till uppgift att undersöka hur människor med implantat klarar sig. Han har ett antal fantastiska historier att berätta.

I artikeln om extrema skrivare berättar jag om lite ovanliga utmatningsorgan. Det ovanligaste är förmodligen ett företag i Roslagen som har till uppgift att skriva ut folk inuti glaskuber. Det har du nog sett ute på stan, men nu får du se hur laserkanonen faktiskt arbetar.

SMHI får skäll för att de inte kan spå väder som folk, för när det står en sol på kartan så regnar det hos dig. I själva verket har de inte stor chans mot det kaos som är en del av luftens konvektion. Efter bara ett par dagar kan prognosen vara helt värdelös. Men de ger inte upp kampen mot slumpen utan laddar upp med mera superdatorkraft och så kallade ensembleprognoser, som ändå i någon mån ska försöka betvinga kaos.

Ett annat problem är att dagens atmosfärsmodeller (superdatorprogram) inte kan hantera hur små väderceller som helst, men att de jobbar på saken. Det, och mycket mer tung teknik i detta nummers inledningsartikel.

Jag slutar som i förra numret, tackar för att håller intresset uppe för Teknikaliteterna och hoppas jag ska få upprepa detta många gånger. Min förhoppning är att du ska tycka så mycket om den här utgåvan att du vill vara med om nästa också.

Med vetenskaplig hälsning

Jörgen Städje
Teknikjournalist

Prognoscentralen hos SMHI i Norrköping. Här görs land-, sjö- och rymdväderprognoser och "reality checks" på de datorgenererade prognoserna innan de går ut till media och andra kunder.

STÄNDIGT BÄTTRE VÄDER FRÅN SMHI

Jörgen Städje

Frilansskribent och teknisk översättare som arbetat för IDG sedan 1989. Han har tidigare arbetat som elektronikkonstruktör, emc/emi-expert, servicetekniker på ocr-utrustning, teknisk dokumentatör och fotograf.

JORGEN.STADJE@TECHWORLD.SE

Är du nöjd med väderprognoserna? Inte? Väder är ingen färdig vetenskap. Nya insikter kommer till hela tiden. SMHI arbetar ständigt på nya matematiska metoder för att göra prognoserna bättre.

Ett hundratal meteorologer och programutvecklare vid SMHI i Norrköping arbetar ständigt med att försöka spå väder och förse allmänhet, massmedia, specialkunder, försvar och flyg med så tillförlitliga prognoser man kan, både för jordiskt väder och rymdväder. Man utveckla dessutom hela tiden nya prognosmetoder, programvaran uppdateras hela tiden och nya krav på noggrannhet pressar hela tiden fram ett behov av större och snabbare superdatorer.

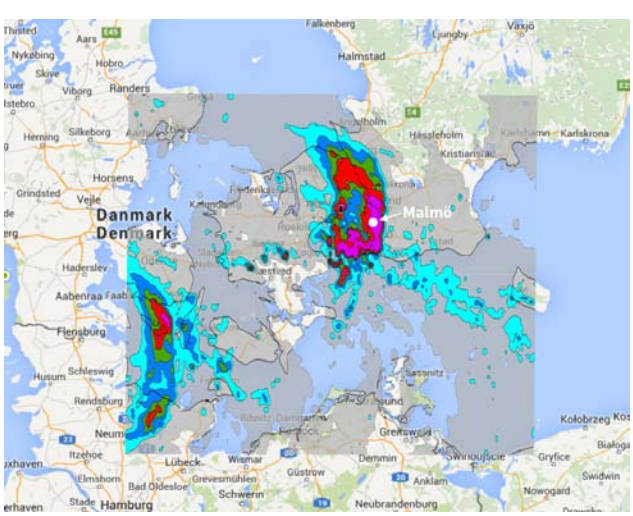
Fyrdimensionell Hirlam, Navier-Stokes flödesekvationer, satellitbilder, superdatorer ... Låter inte det förtroendeingivande? Det är bara ett problem: kaos. Det finns en oförutsägbar egenskap i luftens rörelser som gör att man aldrig kan prognosticera vädret till hundra procent, utan bara presentera ett medelvärde.

Vid vårt förra besök på SMHI år 2005 användes atmosfärsmodellen Hirlam (High resolution limited area model), men den utvecklas inte längre, utan nu är det Harmonie (Hirlam Aladin regional/mesoscale operational nwp in Europe, där nwp står för numerical weather prediction) som är på väg in.

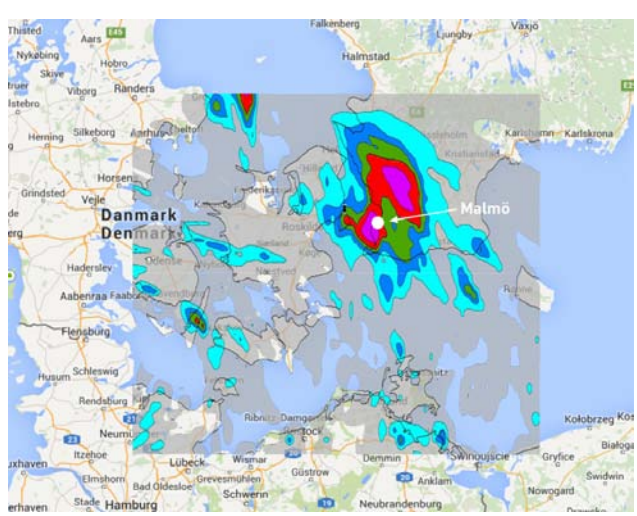
Malmöincidenten

De kaotiska, konvektiva luftströmmarna – den virvlande luften som stiger i värmen – ställer till problem. Delar av Malmö dränktes i ett intensivt skyfall 31 augusti 2014, och SHMI kunde inte förutsäga det på grund av tre anledningar: att väderprocesserna var för småskaliga, att Hirlam inte kunde visa de stora mängderna konvektiv nederbörd och att väderradardata inte användes i prognoskörningarna. Här kan man säga att "meteorologens val" (se skissen i slutet av denna artikel) var mindre lyckat, eftersom man valde Hirlams mindre farliga prognos, före Harmonies.

På 24 timmar föll 100,1 millimeter regn, vilket är rekord för Malmö sedan åtminstone 1961. Det tidigare rekordet i Malmö för mest regn på 24 timmar var 96,6 mm den 18 juni 1980. Dagvattensystemen i Malmö kunde inte ta emot de stora vattenmängderna, och flera områden i staden översvämmades. Det blev också mycket stora störningar i trafiken, tunnlar och lägre liggande vägsträckor översvämmades, bussar och bilar drunknade, med mycket stora kostnader som följd. Sydsvenskan har några riktiga skräckbilder: tinytw.se/regnkaos



Väderradardata för den 31 augusti 2014, i form av 12 timmars ackumulerad nederbörd. Mängden var över 30 millimeter per timma och larmet borde ha gått vid 25 millimeter per timma.



Prognosmodellen Harmonie är högre upplöst än Hirlam och fångade skyfallet mycket bättre, med sina noggrannare detaljer i markens egenskaper och bättre upplösning av konvektiva processer, även om kartbilden blev utslätad. Harmonie klarade detta utan indata från radar.

SMHI kör ett flertal matematiska modeller i samverkan med olika väderkonsortier i Europa, där ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) i Reading intar en central plats. Ny matematik och allt högre upplösning kräver ständigt mera beräkningskapacitet.

Spindeln i SMHI:s nät är Heiner Körnich, enhetschef för den meteorologiska forskningsgruppen.

– Gruppen arbetar främst med att utveckla de numeriska prognosmodellerna, som ger underlag för de prognoser som SMHI publicerar varje dag, säger han.

– Det finns en hel rad prognosmodeller, var och en med sina för- och nackdelar. Den nya Harmonie beskriver vädret med finare detaljer än den gamla Hirlam. Indata körs i flera olika prognosmodeller och slutligen är det meteorologerna i prognoscentralen som avgör vilken modell som fångar dagens väder bäst.

SMHI och norska MET har funderat. De har hittills använt samma meteorologiska modell, nämligen Hirlam, och man befinner sig i samma geografiska område. Varför inte samarbeta med superdatorkörningar också? Därför kör båda instituten just nu på datorn Vilje i Trondheim och har Byvind i Linköping som reserv i ett samarbete kallat Metcoop.

– Men processen är inte exakt lika i båda länderna. Det skiljer sig till exempel vid användning av väderradar, där man har olika idéer, säger Heiner Körnich.

Alla prognoser är osäkra, av den anledningen att vädret är kaotiskt, men metoderna förbättras. Man kan se att väderprognoser som klarade tre dagar för tjugo år sedan i dag kan vara tillförlitliga under fem dagar. Stora vädersystem rör sig framåt med god förutsägbarhet. Men vädret kan fortfarande inte beskrivas cirka 14 dagar in i framtiden på grund av kaoset.

För att få ett begrepp om var osäkerheten finns,

Radar avslöjar regn – ibland

För att få mer "pang-på-rödbetan-meteorologi" talar vi med Stefan Ståhl, ingenjör inom radar, satellit och blixtlokalisering.

– Väderradar är speciell i meteorologiska sammanhang. Den kan tyckas som en väldigt snabb metod att samla in nederbördsdata, men så är det inte, berättar han.

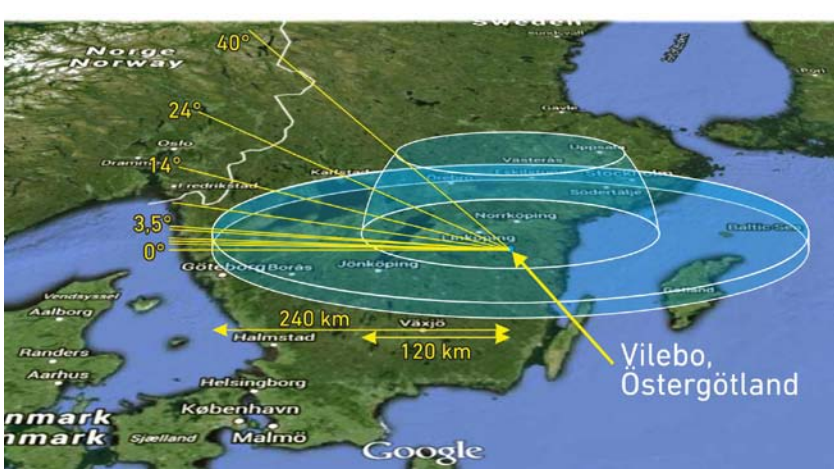
– Radarekon från vattendroppar i ett moln är ingalunda ett bevis på att regn faller, eller kommer att falla, utan bara på att det finns vattendroppar i molnet. Men forskning pågår om att försöka översätta väderradardata till nederbörd och indata från radar testas för närvarande i prognoser, för att åtminstone se att det inte försämrar prognoserna.

Sverige, Norden och Baltikum har ett system av kommunicerande väderradarstationer, varav tolv stycken står i Sverige. Fem av dem ägs och drivs av SMHI och sju av Försvarsmakten.

Data överförs till SMHI både via radio- och trådförbindelser, exempelvis mobilt bredband och Försvarets telenät. Radardata från Finland kommer via ECMWF:s meteorologiska datanät RMDCN.

Data från de olika radarsvepen i höjdled skickas till SMHI och sammanställs där till datavolymer som visar reflektivitet, rörelse och turbulens i hela prognosområdet. Den volymen avses användas i prognossystemet.

En radarantenn under radom, ett kupolformat väderskydd. Bild: Holger Ellgaard (CC BY-SA 4.0)



Radarn sveper två varv per minut med cirka 1 000 pulser per sekund på 5,605 gigahertz, med en stråle med en lobvidd på en grad, en så kallad pencil beam (ungefär i stil med de gula gradstrecken på bilden). Hela volymen är avsvept efter 12 varv och upplösningen är i kilometernivå. Denna sekvens körs var 15:e minut.

Dessutom körs ett svep på den lägsta elevationen (0,5 grader) var femte minut, eftersom det mest intressanta händer där. Vid de högre elevationerna, över 4 grader, inskränker man sig till 120 kilometers räckvidd, eftersom det inte finns så mycket väder på höga höjder.

Radarn är dopplerkänslig, så man kan se vindhastigheter genom att avgöra hur snabbt vattendropparna rör sig. Men egentligen är det ännu mera intrikat – man sänder ut radarvågen diagonalt polariserad och tar emot vertikal och horisontell polarisation (så kallad star mode), eftersom vattendropparnas form förändrar polarisationen och därmed indikerar virvlar i molnen.

kör man femtio prognoser hos ECMWF, en så kallad ensemble. Prognoserna körs med lite olika initialtillstånd, ekvationerna har ett kaotiskt beteende och lämnar femtio olika resultat. Då det inte finns mätdata för hela atmosfären, är initialtillståndet osäkert. Man måste också förenkla indata för att kunna hantera det och även i den processen finns brister.

De observationer som finns, är glesa i förhållande till hela det lufthav man arbetar med, och termometrar finns i stort sett bara på marken. Indata kommer från automatiska väderstationer (så kallade synop), väderradar, trafikflygplan, ballonger och vädersatelliter.

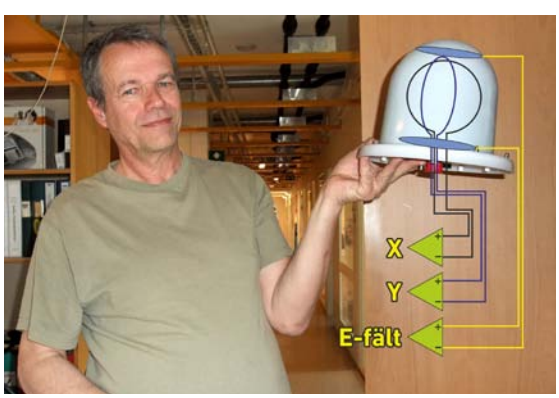
– Det blir fler och fler vädersatelliter, med allt högre upplösning. Det är särskilt viktigt med de nya prognosmodellerna, som kräver allt finare upplöst indata, säger Heiner Körnich.

Ensembleprognoser kräver emellertid mycket mer datakraft än en vanlig körning. Därför står det svensk-norska Bifrost-klustret på National Supercomputer Centre i Linköping klart för att ta hand om detta, fullt med 10 256 kärnor i form av Xeon E5-2640v3-processorer på 2,6 gigahertz.

– Kaoset innebär tyvärr att bara en liten osäkerhet i början av körningen leder till divergerande lösningar. Förutsägbarheten är begränsad. I slutänden handlar det om att ge den bästa prognosen som medelvärde av alla prognoser och att kunna förmedla osäkerheten, avslutar Heiner Körnich. ■

Blixtar tidsstämplas på nanosekunden

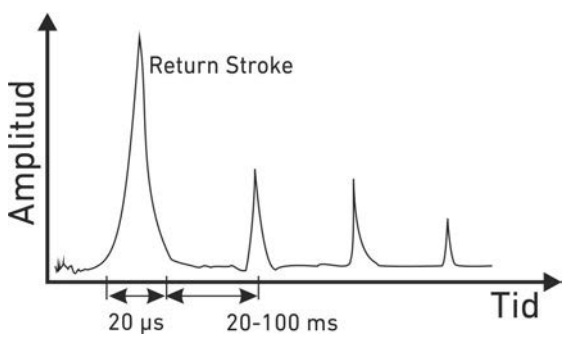
En blixt är en elektrisk urladdning mellan moln och mark, mellan moln eller inom moln. Den är en utmärkt radiosändare och kan höras och pejlas med ett system av riktningskänsliga radiomottagare kallade blixtsensorer. Data från mottagarna, som består av paket med cirka 100 tecken (packat till cirka 15 byte), skickas in via 3g/4g-nätet och fasta ip-förbindelser till SMHI i Norrköping där beräkning av urladdningarnas position med mera sker.



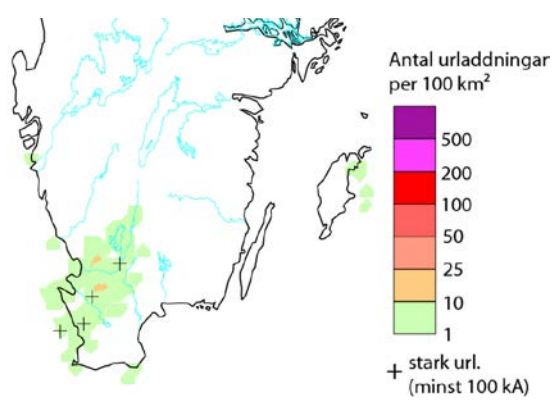
Stefan Ståhl, ingenjör inom blixtlokalisering, med en blixtpejlantenn. De båda loop-antennerna för X- och Y-pejling är inritade, liksom de två plattor som mäter det elektriska fältet. Det som inte ritats in är den gps-antenn som sitter överst, som används för positionsbestämning av mottagaren och tidsstämpling av blixtarna.

Mottagaren mäter fasskillnaden mellan de båda antennlooparna och ger en bäringsnoggrannhet på en grad och är känslig i LF-bandet (kilometervåg), mellan 400 hertz och 400 kilohertz. Dessutom lämnar den blixtens amplitud i ampere, och om den är negativ eller positiv (om strömmen går uppåt eller nedåt) och pulsernas stigtid och falltid.

För att få blixtens position krysspejlas den mellan flera sensorer, varefter man medelvärdesbildar fram det totalt minsta felet. Eftersom urladdningen tidsstämplas på nanosekundnivå kan man dessutom bestämma dess position med time of arrival-beräkningar för att få så bra positionering som möjligt. Systemet lämnar också olika kvalitetsparametrar. Bild: Audrone Vodzinskaite.



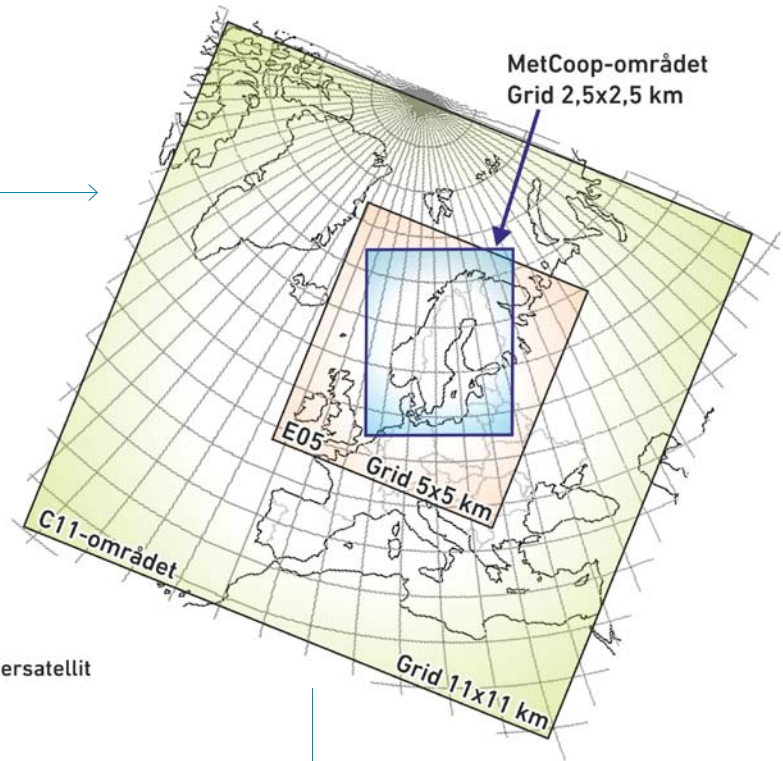
En blixt är egentligen ett komplicerat förlopp av flera bruspulser (return strokes), där den första pulsens envelopp (vågformens yttre gräns) kan ligga mellan 20-50 mikrosekunder, medan tiden mellan två return strokes är mellan 20-100 millisekunder.

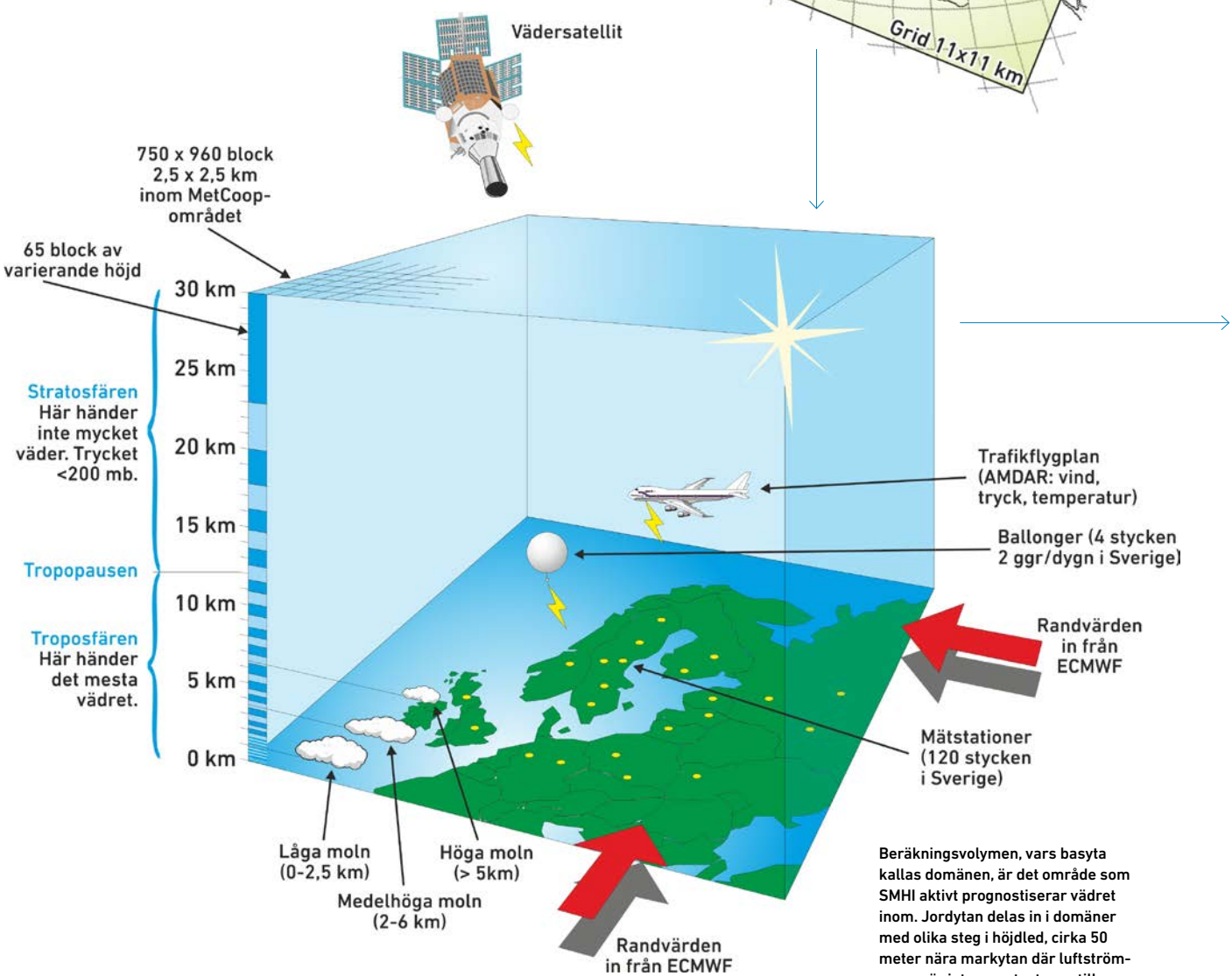


Blixtdata samlas in med sammanlagt 38 sensorer från hela Norden, Baltikum och en del av Nordeuropa i det europeiska samarbetet Euclid (European Cooperation for Lightning Detection). Systemet blockerar kända störningstyper – till exempel svetsning och elstängsel – och resultatet av mätningarna publiceras som en blixtkarta. På kartbilden har det blixtrat lite över Skåne med några extra kraftiga urladdningar uppmätta i Malmö och Köpenhamn.

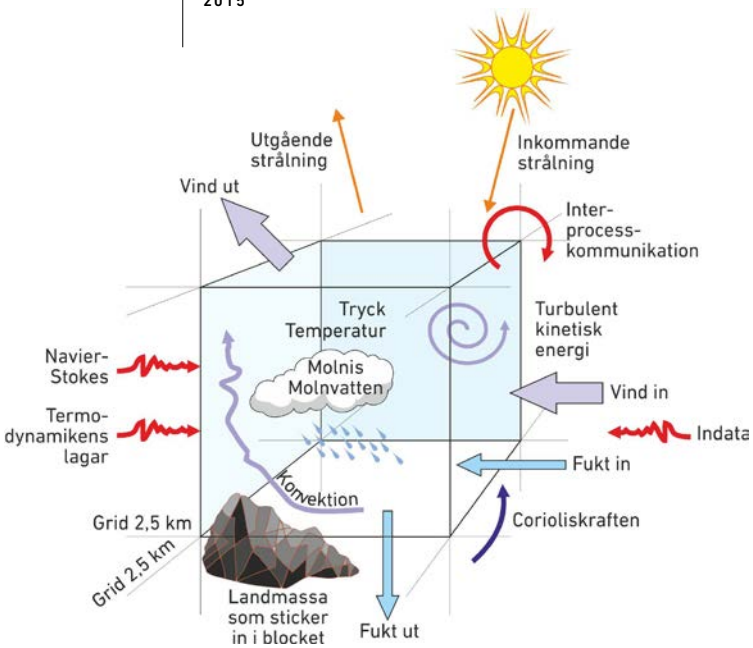
Uppdateras var 6:e timma

SMHI räknar väder för alla områden (domäner) i bilden, men med olika noggrannhet. Väder är så stora system att man måste känna till områden utanför Norden också. Randvärden till C11-området kommer från ECMWF i England, fyra gånger om dagen. Metcoop-området beräknas i samverkan med norska MET och uppdateras var 6:e timma.





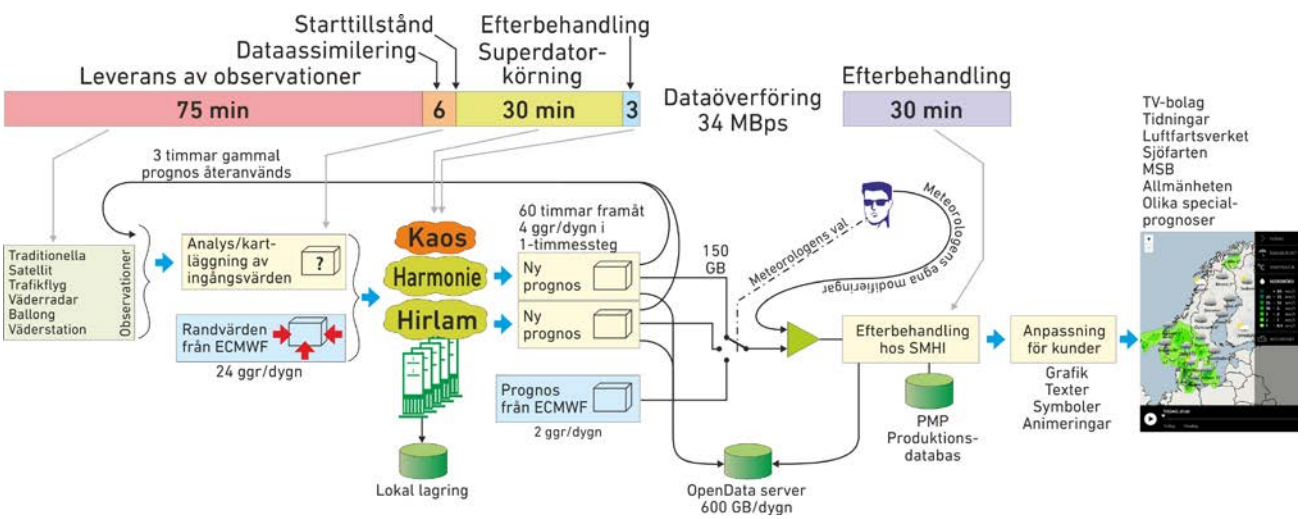
Beräkningsvolymen, vars basyta kallas domänen, är det område som SMHI aktivt prognostiserar vädret inom. Jordytan delas in i domäner med olika steg i höjdled, cirka 50 meter nära markytan där luftströmmarna är intressantast, upp till 1 kilometer i stratosfären där det är ont om luft och därmed ont om väder.



Den minsta beräkningsenheten i en numerisk modell är ett block. I blocket finns indata i form av utdata från förra körningen. Dessutom påverkas blocket av en mängd nytt indata. Vid beräkningen ruskar man om blockets innehåll med Navier-Stokes flödesekvationer och termodynamikens lagar och utdata från blocket transporteras till grannblocken i form av interprocesskommunikation. Du kan se det som att vind som blåser in i blocket måste blåsa ut någonstans också.

Marken har stor påverkan. Ojämnheter som bergsryggar och städer stör luftflödet, och städer absorberar mera instrålning. Vegetation och snötäcke reflekterar olika mycket strålning. Vegetation och sjöar avdunstar fuktighet. Dessutom kan sjöar frysa och avdunstar då inte alls.

Men det svåra är kaoset som uppstår i luftens rörelse på grund av konvektionen, alltså på grund av hur luften stiger och sjunker. Det gör att väldigt små fel i början av prognosen växer exponentiellt med prognoslängden.



Prognoser inom samarbetet Metcoop görs var sjätte timme och indelas i ett antal olika steg. Det första steget är att man väntar på att observationerna ska levereras. Det tar tid, särskilt från satelliterna.

I dataassimileringen bestämmer man starttillståndet för superdatorkörningen, varefter data matas till superdatorn och körs med flera olika numeriska modeller.

Efter att meteorologen valt den prognos som anses lämpligast, går prognosen genom en efterbehandling innan den kan presenteras för kunderna. Meteorologerna kan välja någon av de egna numeriska modellerna eller att anta prognosen från europeiska ECMWF, som anses som den bästa i världen. Den är dock grövre än SMHI:s, och uppdateras inte lika ofta.

Det gäller att hitta ett tillräckligt bra starttillstånd. Tillståndet består av tidsstämplade indata och tidigare prognoser, och man försöker utröna osäkerheten i indata.

Det finns emellertid observationer som inte kommer med, för att de utfördes på en tid som inte passar leveranstiden. Det är synd att kasta bort dyrbart indata. I stället för att ignorera data som inte passar in tidsmässigt, försöker man numera hitta en modell som passar alla observationer oavsett tiden de gjordes, genom att hitta trender över tiden.

Indata från naturen är givetvis tredimensionell (3dvar), men man har alltså nu infört ett tidselement, den fjärde dimensionen. Därav benämningen fyrdimensionell Hirlam (4dvar).

Dessutom kör man en mindre uppdatering var tredje timme, för att kunna fånga tillståndet i atmosfären. Den tar bara fem minuter och data blir kvar i superdatorn och återanvänds vid nästa körning. Metoden kallas ruc, rapid update cycling.

Utdata från en prognoskörning är hela 150 gigabyte efter komprimering, och det arkiveras och görs tillgängligt som öppet data, dygnet runt. Dessutom hamnar data i produktionsdatabasen PMP som efterbearbetas av meteorologer för att passa kundens behov av till exempel särskilda symboler, kartbilder och animationer, alltså det som du ser på tv, tidningar och sajter.

Processen är fortfarande inte felfri, utan kräver en meteorologs insatser. Vissa modeller genererar exempelvis för mycket dimma, eller också kan prognosen ränna iväg åt fel håll och måste styras upp. Den slutliga handen läggs alltid på av en mänsklig meteorolog.

Väder uppträder endast i troposfären, ett nästan osynligt tunt skikt i förhållande till jorden själv.

Tungrekneanlegget – alltså superdatorn – Vilje, döpt efter Odens bror, står i en datorhall i Trondheim. Det är en Silicon Graphics-maskin med 1404 beräkningsnoder med 2,6 gigahertz Intel Xeon E5-2670-processorer med totalt 22 464 kärnor, som klarar 397 teraflop linpack. Primärminnet är totalt 45 terabyte. SMHI:s Hirlam-körning tar en halvtimme på 200 av kärnorna. Maskinen körs under Suse Linux och programmeras i C eller Fortran. Datorn Blixt med 114 Xeon-processorer som användes vid vårt förra reportage 2005 skulle vara hopplöst klen i jämförelse. Bild: NTNU.

Heiner Körnich. Bild: Audrone Vodzinskaite.

Det går att veta allt om kaospendelns konstruktion och krafterna mellan magneterna, men det går ändå aldrig att förutsäga exakt hur pendeln ska svänga. Det är detsamma med luftens konvektion. Bild: Audrone Vodzinskaite.

Mer på nätet

Hirlam är ett meteorologiskt konsortium i Europa:
hirlam.org

... men det finns fler
tinytw.se/consortia

www.ecmwf.int
Den europeiska organisationen

se.baltrad.eu
Baltrad-organisationens samlade radarkedja visar fukt i molnen över Sverige

EXTRA INTRESSANTA SMHI-SIDOR:

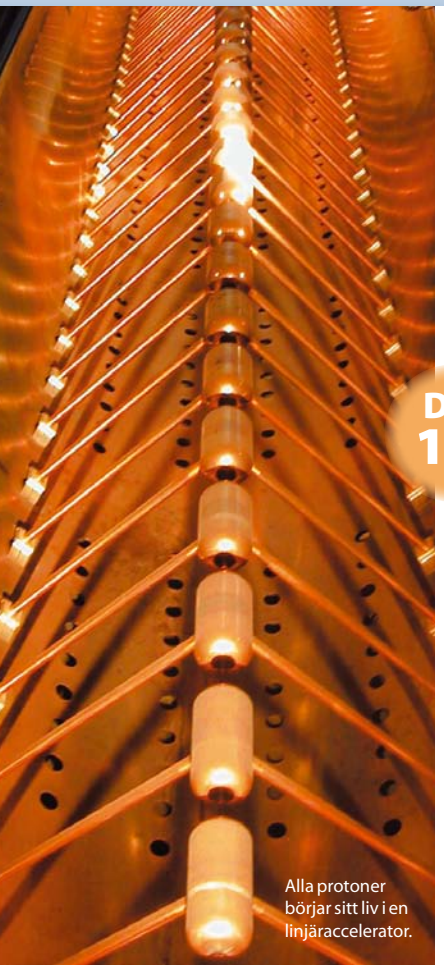
tinytw.se/smhilab
Labbet – en experimentverkstad

tinytw.se/shmimodeller
Om meteorologiska modeller

tinytw.se/smhinum
Om numeriska prognosmodeller

tinytw.se/modellmatte
Om matematiken bakom

tinytw.se/digitaltvatten
Navier-Stokes-ekvationer används också för specialeffekter i film



Alla protoner börjar sitt liv i en linjäraccelerator.

SPS accelererar protoner till 450 gigaelektronvolt

Del 1/2

Hur stor blir smällen om två protoner kolliderar i 99,9999 procent av ljusets hastighet? Det blir den största smäll du kan tänka dig, en kopia av Big Bang. Det är sådant forskarna på Cern sysslar med. Av Jörgen Städje

Med knäppta händer och blicken nedslagen träder vi in på Cern i Meyrin nära Genève i Schweiz. Det känns högtidligt att komma in på grundforskningens allra heligaste domäner. Vi försjunker i stilla meditation men blir snart omhändertagna av en präst, förlåt en guide, som för oss vidare till kontrollcentralen för Super Proton Synchrotron (SPS) i Prevossin, en kort bit in på franska sidan.

SPS är en lagringsring som funnits på Cern sedan 1967. Då byggdes den som en mellanlagringsenhet för protoner och joner till LEP, den stora 27-kilometersringen. Båda ringarna ligger i tunnlar 100 meter ned i marken och sträcker sig mellan Schweiz och Frankrike. LEP är numera ersatt av Large Hadron Collider, LHC, som ska bli världens kraftigaste accelerator. SPS är 2,2 kilometer i diameter, får inkommande protoner från en mindre ring (PS) med 14 gigaelektronvolt och accelererar upp dem till 450 gigaelektronvolt för vidare befordran till LHC. Inte nog med det, den klumpar ihop protonerna i 7 centimeter långa paket innehållande ungefär 2 miljarder protoner vardera med en tusendels millimeters diameter.

Utöver LHC finns det en mängd andra experiment anslutna till SPS som förbrukar protoner. Cirka 2 000 forskare i en stor industrianläggning ägnar sig åt att krocka protoner i olika hårda mål och studera partikelskurarna som blir resultatet av det.

Ringen kan delas in i tre system: **ringen själv**: ett vakuumrör med några centimeters diameter och dess avböjnings- och fokuseringsmagneter, acceleratorer och vakuumpumpar, **drivelektroniken**, nätaggregaten och HF-generatorerna och slutligen **styrsystemen**, datorerna som kör styrprogramvaran. De order styrsystemet ger är dels en återkoppling från protonstrålen, dels resultatet av vad teknikerna i de anslutna experimenten vill (accelerera strålen, mata in nya protoner, hämta ut de accelererade protonerna).

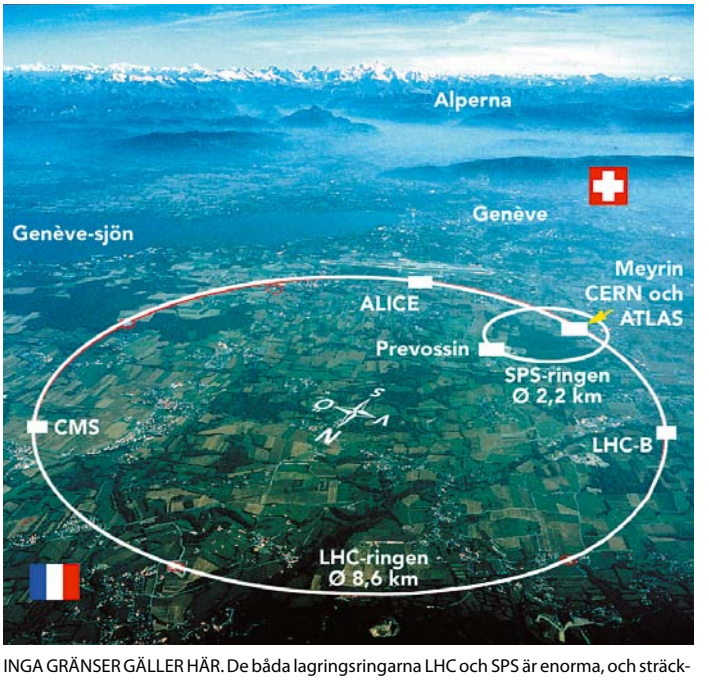
FÄRDIGBANTAD:
0,001 millimeter
tjock är protonstrålen.

C++ är partiklarnas bästa vän

När man hanterar något som inte syns, färdas med ljusets hastighet och har en energi motsvarande en jumbojetmotor inuti en apparat för flera miljarder kronor, gäller det att kunna reagera på en nanosekund. Kontrollcentralen ansvarar för partiklarnas acceleration och kvalitet.

SPS är en åldring i sammanhanget och har ständigt uppgraderats. Hittills har man kört C++ i Unix-miljö, men då man ska börja förse LHC med partiklar år 2007 uppgraderas även programvaran. Valet föll på Java och virtuella Javamaskiner. Då kan man gå bort från X som visningssystem och arbeta enbart med webbläsare med Javatolkar. Billigare och enklare.

Körmiljön för Javaprogrammen är viktig. Man har kört med J2EE som applikationsservrar hittills, men det verkar som om ⇨

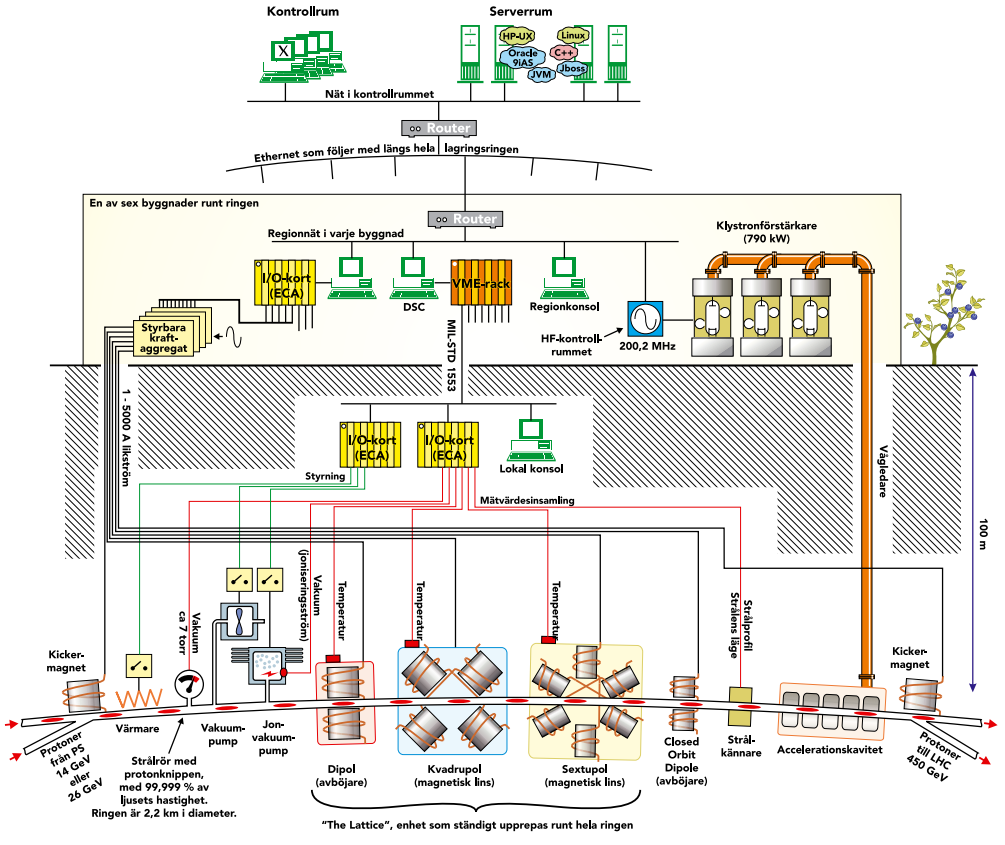


INGA GRÄNSER GÄLLER HÄR. De båda lagringsringarna LHC och SPS är enorma, och sträcker sig mellan Schweiz och Frankrike. Cerns huvudkontor ligger i Meyrin nära Genève. Du ser väl flygplatsen?

5 tuffa krav på en Cern-applikationsserver

- **Hög tillgänglighet.** Allting ska gå dygnet runt, året runt. Underhållet måste kunna ske transparent utan att systemet störs och utan någon förlust av larm eller loggdata.
- **Hög säkerhet.** Endast behöriga ska kunna arbeta med systemet, och de olika användarna ska tilldelas korrekta rättigheter.
- **Höga prestanda.** Användarna vill ha snabb respons, och systemet ska kunna hantera skurar av larm.
- **Hög skalbarhet.** Det ska kunna klara en stor och växande användarskara och kunna skalas upp när systemet växer med LHC.
- **Kompatibilitet med standarder.** Systemet måste stödjas av många. Öppen kod, med andra ord.

Så styrs SPS på Cern – det är en makalös manick!



Anläggningen finns både ovan och under jord. Det finns sex likadana hus utmed ringen med drivutrustning, men bara en kontrollcentral. Lågenergetiska protoner kommer in med 14 gigaelektronvolt energi och lämnar ringen för vidare befordran till LHC med 450 gigaelektronvolt. Notera att man använder MIL-STD 1553 flygplansbuss för att föra ned och ta upp data från underjorden. Runt ringen sitter "the Lattice", en ständigt upprepad följd av avböjare och fokuserare. Dessutom vakuumpumpar och massor av sensorer. Ringen kan dessutom värmas för att gasa ut lagrade luftmolekyler så att vakuumpumpningen går fortare. Strålkännarna, sensorerna som rapporterar strålens form och läge, är märkliga enheter. The Closed Orbit Dipole är en liten avböjare som används för att ge strålen en sista kompensationsknuff en gång per varv, så att omloppsdiametern är densamma.

Drivning ovan jord i SPS: högfrekvensenergi på 200,2 megahertz

SPS förbrukar en del ström, och den första bilden visar ett av ställverken i drivhallen, som matar ström till anläggningen. Mittbilden visar ett datorstyrt kraftaggregat (converter), som används för att mata avböjningsmagneterna med allt mellan 1 och 5 000 ampere. Klystronerna, till höger, genererar den högfrekvensenergi på 200,2 megahertz som används i acceleratorerna runt ringen. De orange rören är vågledare som för ned energin till ringen. Den stora burken som det står Siemens på är själva elektronröret, som det totalt finns ett hundratal av.

Kortkurs i kärnfysik

Världen omkring oss är som bekant uppbyggd av atomer. Atomer består av elementarpartiklar, som elektroner, protoner och neutroner. Så långt fick man lära sig i skolan. Forskarna har visat att neutroner och protoner, som ingår i gruppen hadroner, är sammansatta av delpartiklar kallade kvarkar. Kvarkarna hålls samman av en kraft som kan uttryckas som en klisterpartikel, gluonen.

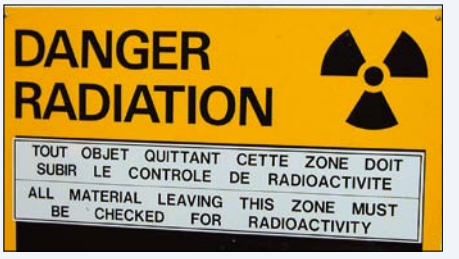
Elektronen som går i sin bana runt atomkärnan hålls kvar av en annan kraft, som förmedlas av fotonen, ljuspartikeln. Fotonen överför en kraft, elektromagnetismen (ofta i form av ljus eller radiovågor), men är själv utan massa. Neutrinon överför nästan ingenting alls och har väldigt liten massa, medan andra partiklar, W- och Z-bosonerna som har samband med radioaktivt sönderfall, har mycket stora massor.

Varför har olika partiklar olika massor? Higgs-fältet är ett hypotetiskt kraftfält som genomflyter hela universum, och det skulle kunna vara partiklarnas samverkan med detta fält som ger dem massa. Samverkan, alltså massan, förmedlas av ännu en partikel, Higgs-bosonen. Partiklar som inte samverkar, som fotoner, har därför ingen massa. När partiklar (hadroner, som alltså samverkar) krockas i LHC kommer sådana energier att finnas tillgängliga att Higgspartikeln kan skapas och studeras. Händer detta kan man verifiera varför saker och ting har massa. Man tänker sig också att vid tillräckligt höga energier är de olika krafterna i universum, de inuti atomen, den elektrosvaga och den elektrostarka kraften, gravitationen och elektromagnetismen, egentligen en och samma kraft som bara visar sig på olika sätt, förmedlade av Higgs-bosonen.

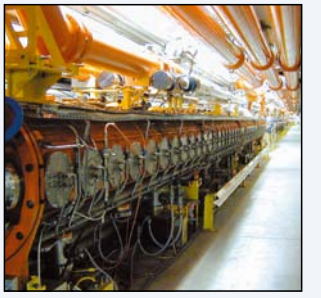
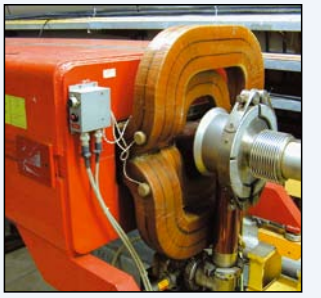
Datorcentral à la France med gigantisk styrförmåga

Här är det franskt, med murriga, konstnärliga tapeter (uppe till vänster). Runt hörnet finns datorhallen, en samling maskiner av varierande datum. Själva strålkontrollen sker från det visade rackskåpet. Man försöker just nu med Red Hat Linux (bilden nere till vänster). Det är här som Oracles 9iAS kan hamna. Kontrollcentralen kopplar till den övriga anläggningen med fiberväxlar (mittenbilden). Slutligen le säkerhetspanel, som används för att förhindra att strålen kan köras igång med personal i tunnlarna.

← Med programmet SPS_orbit övervakar man strålens position runt det sju kilometer långa röret. Avvikelserna visas i de horisontella fönstren. Fullt utslag är +/– 7,5 millimeter, så det är inga stora avstånd. Programmet är ett C++-program som körs mot X-Window.



Protonernas löpbana

Nere under jorden ligger den stora ringen, 2,2 kilometer i diameter. Medan protonerna löper runt, accelereras de i sektioner som den till vänster (översta bilden). Du ser de orange vågledarna som kommer ned och ansluts till enheten. Men protonerna går inte runt ringen om de inte avböjs, och det sker i dipolmagneter som den röda i mittbilden. Strålröret kommer in från höger och de stora ”läpparna” är spolar som alstrar det lodräta magnetfältet. Strålen fokuseras i sextupoler som den crèmefärgade i mitten eller kvadrupoler som den blå till höger (bilden längst ner).

Oracles 9iAS blir den miljö man kommer att satsa på. Den är inte bunden till något operativsystem, men HP-UX och Linux ligger bra till. Om man i korthet ska beskriva en applikationsserver, så är det en slags förvuxen Javamaskin med inbyggda övervakningsmöjligheter, ett säkerhetssystem och interprocesskommunikation.

Hundratusentals parametrar

Vad gör personalen med styrsystemet? Det finns flera klasser av personal med olika rättigheter. Operatörerna styr strålen och stämmer av den (det är högfrekvens) så att den får bästa möjliga egenskaper för de fysiska experimenten, och undersöker strålens kvalitet. Strålen styrs genom att olika parametrar i systemet förändras hela tiden (magnetkrafter, frekvenser med mera), flera hundratusentals parametrar, som lagras i en databas.

Fysikerna använder sig också av styrsystemet, men de har bara begränsade rättigheter och kan bara förändra experimenten inom sina egna områden. Systemet måste hålla reda på deras rättigheter så de inte kan förändra parametrar de inte har rätt till. För närvarande är det J2EE som står för funktionerna, tillsammans med Oracles databashanterare.

Till gagn för hela världen

Cern är en hel industri som förbrukar enorma mängder elenergi och bara producerar små osynliga partiklar, men som i gengäld för människan närmare en förståelse för naturens innersta beståndsdelar och de krafter som håller samman universum. I Cern slipas världens skarpaste hjärnor i konfrontation med kosmiska krockar.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör, nätverksspecialist, teknikhistoriker och datorgrafiker. Du når honom enklast på jorgen@qedata.se.

SÅ GÅR DU VIDARE

- Informationsmängden på Cerns webbplats public.web.cern.ch/public/ är enorm. Läs om experimenten på Cern på public.web.cern.ch/Public/about/how/experiments/experiments.html. Välj sedan ATLAS och därefter PHYSICS för en grundkurs.

Här ska universums hemligheter avslöjas

Nobelpriset är ständigt hägrande för de tusentals forskarna på Cern. Och sämre arbetsuppgifter kan man ju ha: att reda ut Higgs-sönderfallet och problemet med för lite antimateria är få förunnat. Av Jörgen Städje

Del 2/2

Sju centimeter långa partikelbuntar, åtta tusendelars millimeter i diameter, med 110 miljarder protoner vardera, kolliderar i en jättekrock och så blir det bara skrot av alltihop, partikelskrot, ett osynligt fyrverkeri av nya partiklar som avslöjar materiens innersta hemligheter genom sättet de flyger iväg från krocken. Fyrverkeriet, en händelse på 100 pikosekunder, var 25 nanosekund, registreras av Atlasdetektorn på Cern, en detektor på 7 000 ton med drygt hundra miljoner partikelsensorer i flera lager, och värdena registreras, tidsstämplas och lagras i en databas.

Nu tar grid computing-nätet över och skapar en tredimensionell bild av förloppet. Genom att se hur partiklarna färdas kan man förstå vilka partiklar det rör sig om och hur de samverkade vid krocken.

När lagringsringen LHC, Large Hadron Collider, går igång år 2007 kan forskarna vara mikrokosmos hemligheter på spåren!

KROCK:
2 000 000 000
protoner möts i en smäll.

Hög elräkning

Allting hos LHC är gigantiskt. ”Large” i LHC anger att den är väldigt stor, 8,6 kilometer i diameter. LHC är en lagrings- och acceleratorring, precis som SPS, som den får sina protoner från (se artikeln i nummer 12). Protoner som kommer från SPS håller 450 gigaelektronvolt energi när de växlas in i LHC och kommer att accelereras till 7 teraelektronvolt, med samma metoder som i SPS, om än i supraledande form. Det sparar helt enkelt energi, och Cerns elräkning är redan tillräckligt hög.

Partiklarna växlas in i två skilda rör, där de roterar mot varandra. Rören går bara samman i detektorerna, där partiklarna kan mötas i sammanlagt 14 teraelektronvolt.

Vad är då hadroner? Det är den familj av elementarpartiklar där protonen ingår och som ska krockas i 99,99999 procent av ljushastigheten.

Runt LHC-ringen finns fyra detektorer. Atlas (A Toriodal LHC Apparatus), som den här artikeln behandlar, finns vid Cerns huvudanläggning i Meyrin nära Genève och ska användas till forskning om Big Bang, varför massa finns, Higgssönderfall, toppkvarkar och problemet med för lite antimateria.

LHC engagerar 2 000 fysiker från 150 olika universitet och ska fungera i 30 år. Materialkostnaden för uppbyggnaden av LHC är 350 miljoner euro.

Från krock till limpa

Låt oss följa signalen från själva krocken och ut till hårddiskarna. Jämför med den tekniska skissen på nästa sida.

Krocken sker inuti den röd-blå delen i mitten av Atlas och därifrån sprider sig partiklarna ut genom detektorns alla lager. De stora magneterna runt omkring alstrar ett magnetfält som böjer av partikelspåren. Beroende på partiklarnas hastighet, energi och laddning kommer de att böjas av olika kraftigt och åt olika håll. Det är med hjälp av spårens avböjning och hur långt ut partikeln orkar tränga man avgör vilken sort det var.

Detektorn har lager på lager av sensorer, med de allra finast upplösta pixeldetektorerna (halvledare) längst in och grövre gasfyllda sensorer längre ut. Alla sensorer ger en elektrisk utsignal som tas om hand av skiftregister i

Hundra meter ned ska Atlas monteras

Det här huset, Atlasbyggnaden, står precis ovanpå hålet där Atlas ska monteras ihop 100 meter ned i marken. Detektorn blir precis lika stor som huset.

10 mätbara fakta om Atlas-detektorn i Cern

- **Detektorn blir** 44 meter lång och 10 våningar hög.
- **Den byggs** 100 meter under marken.
- **Den kommer att väga** 7 000 ton.
- **Den genomflyts av** protoner från två håll, i två parallella vakuumrör.
- **Protonerna möts** 40 miljoner gånger per sekund. Ett möte tar 100 pikosekunder.
- **De supraledande toroiderna** i detektorn drar 24 000 ampere, men bara noll volt.
- **LHC-ringen** är 27 kilometer i omkrets och ligger på 100 meters djup nere i berget.
- **Supraledarna i LHC-ringen** kyls till 2 Kelvin med flytande helium II, en vätska som saknar friktion och kan flyta uppåt.
- **Skulle man lägga ut** alla supraledarna efter varandra skulle de räcka ett varv runt solen i jordens bana!
- **LHC-projektet har** fördubblat världsproduktionen av supraledare.

nivå 1-lagringen med 40 megasample per sekund på 147 megakanaler! Skiftregistren för nivå 1 befinner sig egentligen inuti detektorn (röd-blå symbol). Tyvärr inte så enkelt att visa på ritningen.

Det är de höga hastigheterna som gör livet surt för mätteknikerna. Ljusets hastighet är den begränsande faktorn. Medan en kollision inträffar är partiklarna från förra kollisionen fortfarande på väg ut genom detektorn. De elektriska mätningarna av en kollision har bara hunnit 7,5 meter på den 120 meter långa ledningen när nästa smäll kommer.

Dataflödet in i nivå 1 ligger i petabyte per sekund, och det går inte att lagra. Men eftersom de flesta krockar inte är av intresse, dataskräp, låter man triggelektronik avgöra om data ska behållas eller kastas. Triggelektroniken kan liknas vid en massiv parallelldator som reagerar på ett antal utvalda kanaler för de signaltyper man är intresserad av. Det tar 1 mikrosekund för triggsignalen att komma till elektroniken, 0,5 mikrosekunder att fälla avgörandet och 1 mikrosekund till för signalen att gå tillbaka till skiftregistren inne i detektorn.

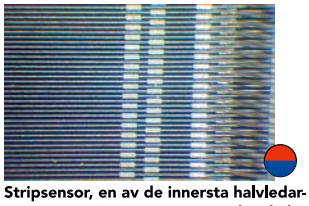
För det mesta kastas data och endast 75 gigabyte per sekund återstår in i nivå 2. På denna nivå tar specialbyggda processorer över och filtrerar bort oönskade händelser. Efteråt återstår cirka 1 000 händelser per sekund in till nivå 3.

På nivå 3 kan data börja bearbetas med programvara och multipla processorer, och ett antal händelsefiler åsätts signalen. Efter nålsögat är datahastigheten reducerad till 300 megabyte per sekund, vilket kan lagras på hårddisk med rimlig ansträngning. Detektorn går dag och natt och dataflödet upphör aldrig, så på ett år räknar man med att behöva lagra 10 petabyte.

Tredimensionella bilder

Olika teorier beskriver hur resultatet kan se ut när man krockar sönder två protoner och frigör Higgs-partikeln. Sensorernas plats i detektorn är kända på en my när, och det är viktigt när man ska börja med mönsterigenkänningen. Den börjar längst ut i detektorn och går inåt. De väl urskiljbara mönstren i de yttersta myondetektorerna är startpunkter, och sedan

Krockarna i Atlas skapar dataflöden i petabyte per sekund



Stripsensor, en av de innersta halvledarsensorerna. Stripparna, 80 µm breda backspända dioder med bondtrådar till höger.

Stripsensor med skiftregistren som håller signalerna i 2,5 µs

EM, elektromagnetiska kalorimetern, uppbyggd av veckat kretskort

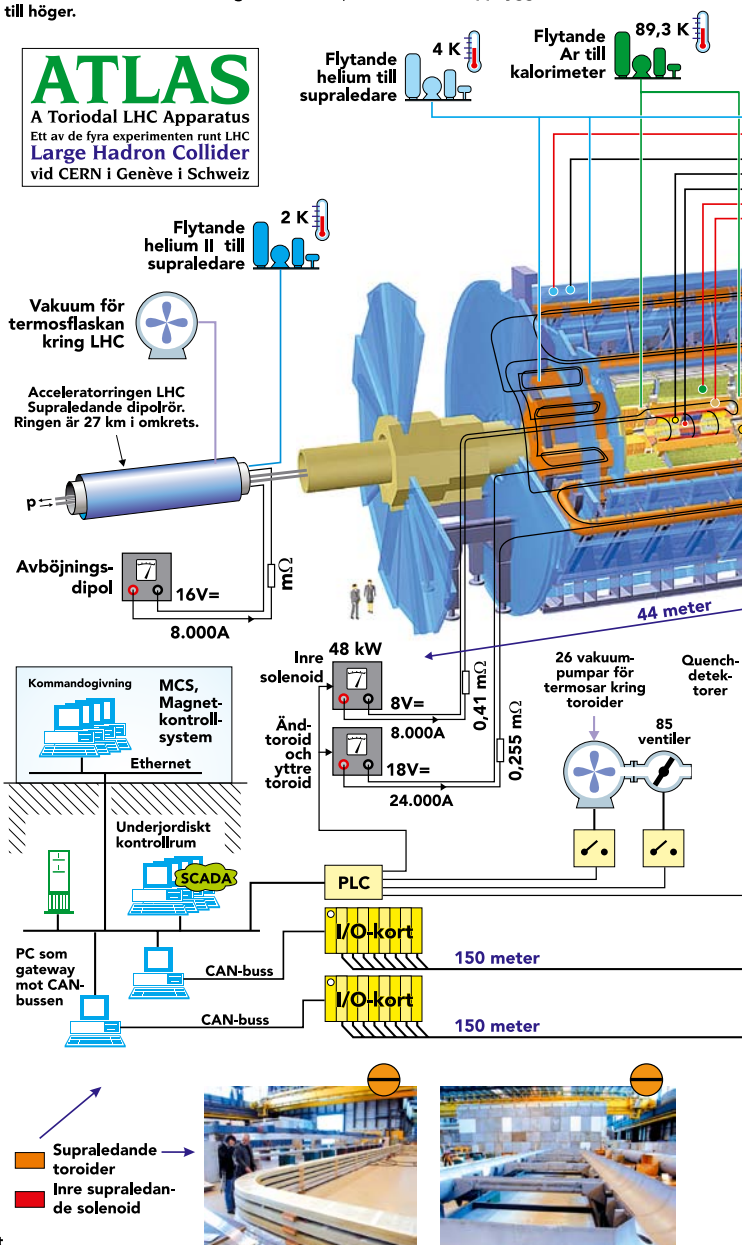
Kryogenisk fabrik för tillverkning av Helium II till dipolen

Tryckkärl i den kryogeniska fabriken
Foto: CERN

Provlinje för dipolrör
Foto: CERN

Två dipolrör kopplas ihop

Dipolrörets ände. Vakuumkärlet ytterst, sedan det heliumfyllda kärlet. Den massiva biten i mitten är magneten, med de två strålrören sida vid sida.



Supraledarna till yttre toroid ingjutna i glasfiber, men utan aluminiumhölje

Vakuumkärl i rostfritt till yttre toroid. Supraledarna ska läggas i och en övre halva svetsas på.

FÖRKLARING TILL DEN TEKNISKA SKISSEN. Alla foton har en färgsymbol vars färg återfinns inne i detektorn eller elektroniken runt omkring. Den röd-blå visar pixeldetektorn som befinner sig allra längst inne i mitten.

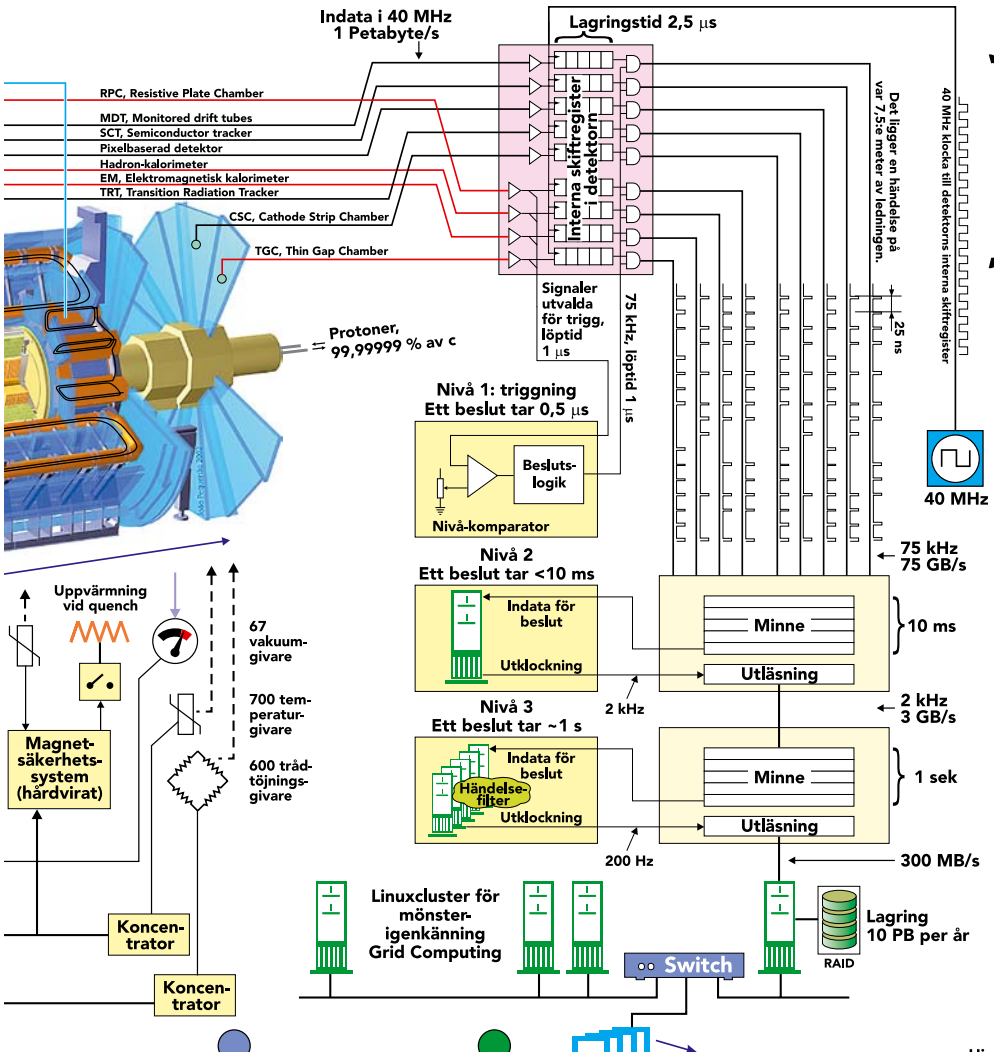
Verifiera Higgs-partikelns uppgift – sedan väntar Nobelpriset

Kryogeniska kärlet som innehåller inre solenoiden

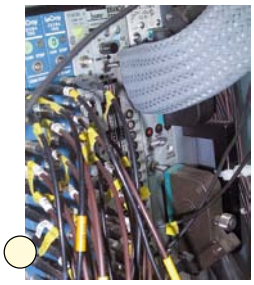
Ändring till inre kryogeniska kärlet

Elektromagnetiska kalorimetrarna monteras i kryogeniska kärlet
Foto: CERN

Två bilder av änd-toroidens kryogeniska kärl, dels från utsidan, dels från insidan. Utan lock.



Signalmottagare från sensorer. De svarta ledarna är nanosekund-kompenserade



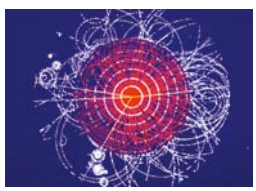
Signalmottagare, detalj med de olika mätkorten i en kortrack

Triggkretsar i nivå ett
Foto: CERN

Gigabitswitch

En array av linuxmaskiner

Forskarnas arbetsstationer



Det som alla väntar på: Higgs-sönderfallet (gula linjer)
Foto: CERN

Higgs-sönderfallet är signalen till att man funnit sambandet mellan elementarpartiklarna (protoner och neutroner m fl) och deras massa. Ingen vet varför vi väger något. Vad är gravitationen och hur verkar den mellan partiklar? Partiklarna är så små som planeter i vårt solsystem ungefär, så även bly är mest bara tomrum. Man antar att Higgspartikeln överför massan när den samverkar med andra partiklar. Det är därför ljus inte väger något - fotoner samverkar inte med Higgs-fältet.

jobbar sig programvaran inåt och följer spåren mot centrum. Resultatet blir en tredimensionell bild av krocken, där allt skräp kan silas bort. När man hittat rätt sorts sönderfall kan man konstatera att Higgs-partikeln finns och verifiera att denna skapar massan i universum. Sedan väntar Nobelpriset (det stående skämtet på Cern).

Cerns kapacitet räcker inte

Den mängd databehandling som krävs för mönsterigenkänningen är enorm. Man beräknar att man kommer att behöva en TIPS (teorinstruktioner per sekund) för att hålla jämna steg. Det räcker inte med de datorer som Cern kan tillhandahålla, utan alla medlemsländer får vara med och bearbeta data tillsammans i ett nätverk, en så kallad datagrid.

För tillfället har man byggt en parallelldatorprototyp med Linuxmaskiner sammankopplade med Gigabit Ethernet, som kommer att byggas ut fram till driftsstart, men ändå behövs parallell bearbetning av maskiner i hela världen. Vilken institution som helst kan vara med i griden, och öppen programvara finns att ladda ned. Provberäkningar har redan körts i den nordiska Nordugrid med simulerade Atlas-data. En typisk indatamängd ligger på 200 gigabyte och utdata i klassen 765 gigabyte produceras på 150 sekunder. Kommunikationen mellan de olika noderna i den världsomspännande griden kommer att ske via en annan Cernuppfinning, the World Wide Web.

Ger svar på universums gåtor

Magnetfälten i Atlas (1-3T) skapas av supraledande magneter. Magneterna måste drivas och kontrolleras (i skissen: den blå elektroniken till vänster). De ligger på 4 Kelvins temperatur, och det behövs en hel fabrik för att tillverka flytande helium att kyla dem med. En supraledande ledning består av ett tunt knippe supraledande ”fibrer” av niob-titan-legering, försilvrade och omgivna av en mantel av aluminium. Ingen isolation? Om ledningen har en mantel av aluminium blir det väl bara en enda gigantisk kortslutning? Nej, aluminium är att betrakta som en isolator i supraledande sammanhang, när själva ledaren är absolut noll ohm. Spänningsfallet över spolarna är absolut noll volt trots att man leder 24 000 ampere genom dem. Därför seriekopplar man alla 24 spolarna och har fortfarande noll ohm.

När Atlas går igång år 2007 kommer vi förhoppningsvis att få svar på många av universums gåtor. Varför finns det massa? Varför finns det för lite antimateria? Hur såg naturlagarna ut i universum 10–30 sekunder efter Big Bang och vad innebär det för universums utveckling? Ett gigantiskt samarbete mellan gruvtekniker, chiptillverkare, programmerare, nätverksfolk och partikelforskare ska leda oss ytterligare en bit in mot naturens minsta beståndsdelar, och samtidigt närmare universums ursprung. TNC

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör, nätverksspecialist, teknikhistoriker och datorgrafiker. Du når honom enklast på **jorgen@qedata.se.**

SÅ GÅR DU VIDARE

- De olika detektorerna avhandlas på www.cern.ch om du väljer Public Welcome Page.
- atlas.web.cern.ch/Atlas/behandlar Atlas. Välj Public och sedan Take an eTour.
- cmsdoc.cern.ch/cms/outreach/html/index.shtml behandlar CMS.
- www.cern.ch/alice är en avdelning för just denna detektor.
- Den nordiska satsningen på grid computing finns på www.nordugrid.org.
- En snabbis om partikelfysik finns i N&K 12/2003.

SVENSK INSAMLINGS KONTROLL 90 KONTO

Bjud en hel familj på mat under lunchen.

På **shop.redcross.se** kan du bland annat köpa ett matpaket till en familj i Syrien för 385 kronor. Du får ett gåvobevis som du kan behålla eller ge bort. Pengarna går till rätt saker på rätt ställe. I rätt tid.

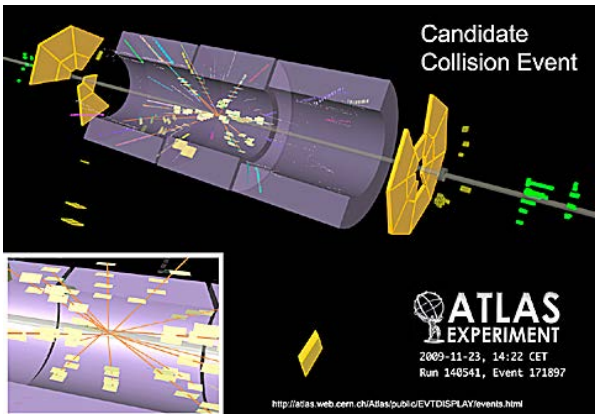
Sätt hjälpen i rörelse

RödaKorset

ANDRA GÅNGEN GILLT FÖR LHC

Varför väger något något? Vi har över huvud taget ingen aning, men det finns en misstanke om att elementarpartikeln Higgsbosonen har ett gravitationellt finger med i spelet. Atlas-detektorn vid CERN är igång med att finna svaren.

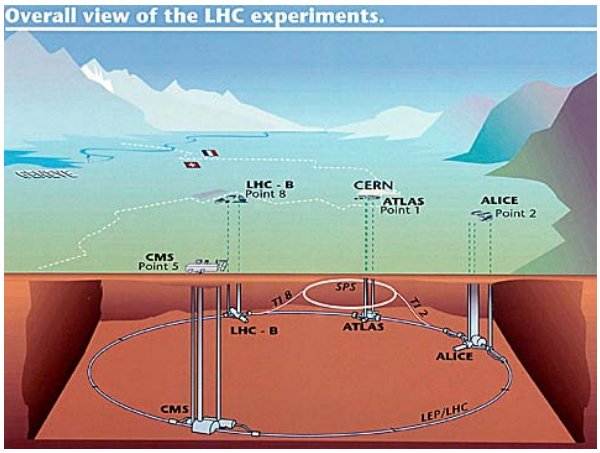
Första smällen i Atlas inträffade 14:22 lokal tid den 23 november 2009. De gula plattorna är de detektorplattor som registrerat smällen. Det är både de inre halvledardetektorerna och några änddetektorer.



Energin var endast 2 x 450 GeV (900 GeV kombinerad energi), alltså det som kommer direkt ur föracceleratorn SPS (Super Proton Synchrotron). Den 30 november nådde man 1,18 TeV kombinerad energi, och nu ökar man den gradvis till den slutliga 7 TeV per stråle.

Acceleratorn Large Hadron Collider vid CERN i Schweiz/Frankrike orsakade enorma mediaskandaler världen över när den gick igång i slutet av föra året. Jorden skulle gå under, eller åtminstone slukas upp av ett svart hål, men det enda svarta hålet uppstod i en slarvig punktsvets i en skarv i en av de supraledande magneterna i lagringsringen LHC. Med all magnetiseringsström på, råkade supralednigen upphöra på ett ställe (quench) och all lagrad effekt i ett ringsegment blev till värme just där. Poff, pang och sex ton flytande helium läckte ut i acceleratortunneln.

Nu har LHC varit igång igen i all tysthet i ett antal veckor och Jorden har inte gått under. I början av november injicerade man de första protonpaketen i ringen och de första kollisionerna registrerades måndagen den 23 november, om än inte med full energi.



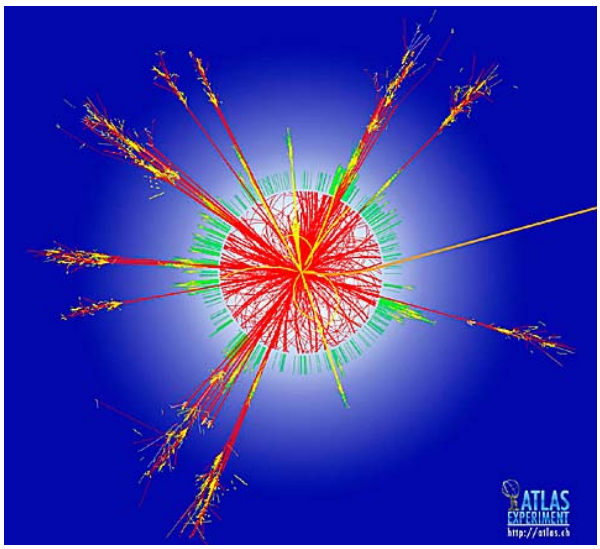
Runt LHC-tunneln 100 meter under jord sitter i huvudsak fyra detektorer. Data från dessa samlas ihop och skickas ut över hela Jorden för vidarebehandling.

Bara för att, frågade jag den kvinna som är chef för LHC-driften om de hade kört igång allt i smyg den här gången?

– Javisst.

– Och Jorden har inte försvunnit i ett svart hål?

– Nä.



Dessa partikelspår är ett exempel på simulerat data för Atlas-detektorn. Spåren skulle kunna se ut så här om ett svart hål i miniatyr skulle ha skapats i en kollision mellan två protoner. Ett så litet svart hål skulle omedelbart falla sönder i andra partiklar genom en process kallad Hawking-strålning eller Black Hole Evaporation.

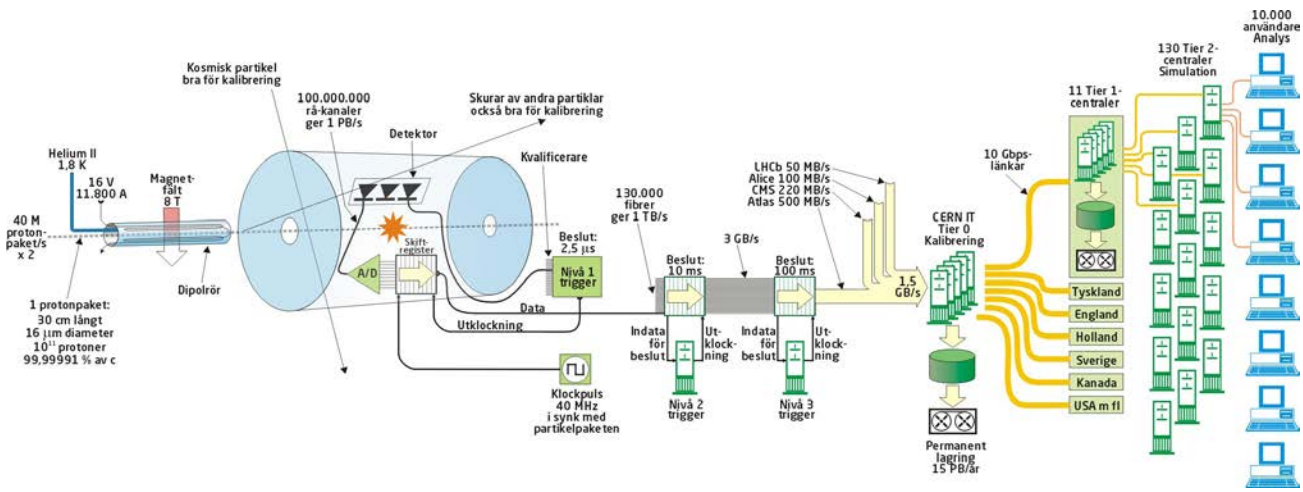
http://angelsanddemons.cern.ch/faq/black-hole
http://en.wikipedia.org/wiki/Hawking_radiation

BAKGRUND

Om all universums materia befann sig i en enda liten punkt vid universums födelse bör denna ha expanderat jämnt åt alla håll efter smällen. Mätningar av mikrovågsbakgrundens ojämna struktur visar att det inte är så. En annan teori säger att det vid smällen bör ha bildats lika många partiklar som antipartiklar. Dessa bör då ha annihilerat varandra ganska snart och universum skulle ha bestått enbart av strålning. Så är det ju inte. Genom att krocka blykärnor och åstadkomma ett sk gluonplasma (partikelgegga) som är det närmaste vi kommer Big Bang ska man försöka ta reda på hur stora smällen egentligen såg ut och vad som störde symmetrin. Kanske ett annat, intilliggande universum?

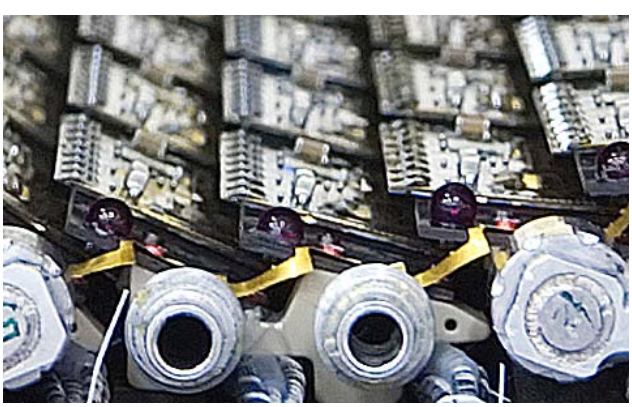
Vad är massa? Varför väger saker något? Ingen vet, men man antar att den subatomära partikeln Higgsbosonen har med saken att göra. Higgsbosoner finns överallt omkring oss och det kan vara partiklarnas interaktion med varandra (higgsfältet) som avgör massan. Ju starkare interaktion, desto mera massa. Eller tvärtom. Det är därför neutriner inte väger något, för de samverkar inte med higgsfältet. Nu återstår det att krocka sönder en proton så man får ut bosonerna. Till det behövs minst 13 teraelektronvolts krockenergi och det är just vad som uppstår när två protonstrålar på 7 TeV vardera slår ihop i mitten av Atlas-detektorn. Det kommer att bli 40 miljoner krockförsök per sekund och någon gång varannan månad kanske man får en användbar krock.

DATAFÅNGST OCH DATAREDUKTION



Alla experimenten (Atlas, Alice, CMS och LHCb) på LHC-ringen är uppbyggda på ungefär samma sätt. De består av lager på lager av partikeldetektorer virade runt vakuumrören (strålrören) där partikelstrålarna krockar, med allt lägre upplösning ju längre ut man kommer. De inre detektorerna är kiselchipar med dioder i mikrometerstorlek monterade på långa kretskort som helt omsluter röret, medan de yttre är olika typer av gasfyllda rör (GM-rör etc) som i vissa fall är stora som hus. Experimenten själva är i storlek med tiovåningshus.

Hålet i den allra innersta detektorn, The Pixel Barrel Subassembly är inte mer än kanske 15 centimeter i diameter. Denna halvledardetektor ligger allra närmast strålrören och håller högst upplösning, i my-klassen.



Detaljbilden visar de enskilda kretskorten, som är bestyckade med långa rader av backspända dioder som partiklarna slår igenom och laddar ur.

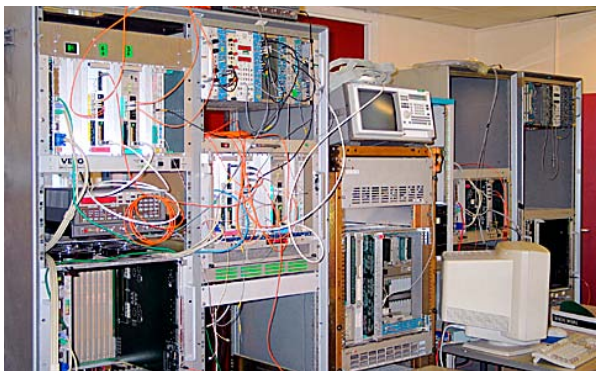
Dessutom finns det stora supraledande magnetslingor lagda i en toroid kring röret inuti detektorapparaten, som ska böja av de elektriskt laddade partiklarna på deras väg ut genom apparaten. Ju mera man lyckas böja av en partikel, desto kraftigare elektrisk laddning har den, respektive desto långsammare går den. Kurvradien är alltså ett mått på laddningen och farten.

Mellan lagren av detektorer ligger skal av metaller som ska stoppa partiklar med lägre energier. Sålunda kommer bara de allra energirikaste partiklarna (som bosonerna och deras restprodukter) att orka ända ut till de yttersta detektorerna, utan att böjas av för mycket i magnetfältet och gå i spiral.

Partikelstrålarna levereras in i detektorapparaten och knäcks av i ganska brant vinkel för att slå ihop inom ett mikrometerstort område i mitten av apparaten. Strålarna går parallellt ganska långt in i detektorn ända tills de når fram till ett par kickermagneter som ger dem en knuff så att de byter riktning och kolliderar i nästan 45 graders vinkel. Etter smällen knäcker man tillbaka partikelstrålarna så att de fortsätter vidare i det andra strålröret.

De störningar som uppkommer när en partikel slår igenom en detektor (av cirka 100 miljoner stycken, i systemskissen åskådliggjord som en rad med dioder, men det finns som sagt mängder av andra typer av detektorer) A/D-omvandlas i en (typiskt) 14-bitars A/D-omvandlare och skickas in i ett skiftregister som sitter monterat inuti detektorapparaten, där data klockas framåt med 40 megahertz klockfrekvens synkront med partikelpaketen. Det totala flödet in i alla skiftregister är ungefär 1 petabyte per sekund. Det är mera data än hela Europas sammanlagda teletrafik. Notera att kapaciteterna i vänstra delen av bilden räknas i byte per sekund och först när vi talar datanät i högra delen av bilden, övergår vi till bitar per sekund.

Det går inte att hantera så mycket data på något känt sätt med datorer. Först måste allt skräpdata sorteras bort så att man kommer ned under ett par gigabyte per sekund. Med skräpdata menas ”känd fysik” alltså sådana kollisioner som resulterar i kända elementarpartiklar. Det finns ingen anledning att öda beräkningskraft på dessa.

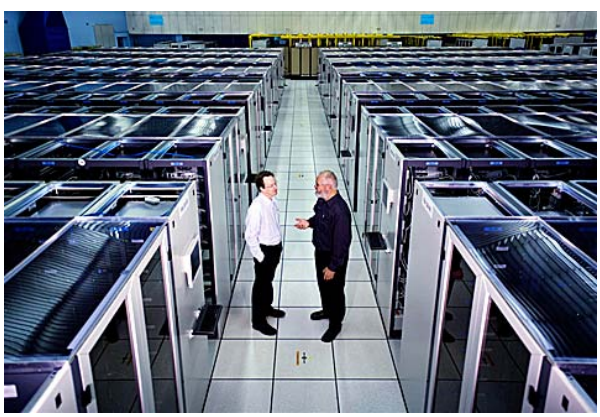


Triggerelektronik på nivå 1 i Atlas.

Vissa nyckeldetektorer har valts ut för att ge besked om det är skräpdata eller en viktig händelse och data från dessa går på fiber direkt ut till en beslutsenhet, en trigger, som med hjälp av komparatorer avgör om händelsen är värd att spara eller ej. Ett beslut att spara måste komma inom 2,5 mikrosekunder och beslutet medför att data faktiskt klockas ut ur skiftregistren, istället för att bara slängas. Dataflödet är nu nere i ungefär 1 terabyte per sekund. Data matas ut som bitströmmar på optiska fibrer och tas upp till markytan, där de sammanställs.

Triggerelektronik på nivå 2 i Atlas. Datamängderna är nu på sådan nivå att de kan hanteras av standarddatorer.

Den första silningen är tämligen rå, men dataflödet kan nu behandlas av datorer. Data skiftas alltså in i nästa skiftregister, där det vandrar framåt under 10 ms. Man kör samma metod igen, men denna gång är det datorer som avgör om triggning ska ske. Utdata ur registret har ett flöde på cirka 3 gigabyte per sekund. Det är fortfarande för mycket data för att det ska kunna behandlas och kalibreras, så ännu ett filtersteg måste till. Samma metod används ytterligare en gång men med betydligt intelligentare filtrering. Resultatet av detta är ett dataflöde på 500 megabyte per sekund, bara från Atlasdetektorn. Tillsammans med de övriga detektorerna når man 1,5 gigabyte per sekund.



CERN-ITs stora datorhall full med starka servrar i HPC-konfigurering, där data kalibreras och slutlagras.

HPC-klustren i CERNS datorhall, det CERN kallar för nivå 0, tar nu hand om datat för kalibrering. Varje händelse måste bestämmas till sin exakta tid och plats. Med plats menas i det här fallet en mätnoggrannhet ned på mikrometern när. Detektorn är inte så noggrant uppbyggd (0,1- 1 mm är mera realistiskt rent mekaniskt, och gravitationen och temperaturförändringar gör sitt till), utan man har kalibrerat den med testpartiklar för att få se de enskilda detektorernas exakta plats. Ett exempel på detta är kosmiska partiklar som tränger igenom allt utan att avböjas, så även Atlasdetektorn. Man vet att den kosmiska partikeln går absolut rakt och får kompensera sina mätningar efter detta.

Efter kalibrering slutlagras data på hårddiskkluster och slutligen på band. Det blir cirka 15 petabyte per år.

– Ni använder ganska mycket magnetbad per år? frågar jag IT-chefen.

– Yes sir, det gör vi!

Med ledning av var i apparaten som den enskilda detektorn sitter och när i tiden störningen uppstod kan man bygga upp en 3D-bild av hur partiklarna rört sig i detektorn, samt deras energier. Det vill dock till att man håller ordning på pikosekunderna. Särskilt som det kommer 40 mega-händelser per sekund. Partiklarna från en händelse kan mycket väl vara på väg ut genom detektorn när nästa krock uppstår.

Av utgångsvinklarna och energierna avgör man slutligen vilka partiklar man sett och ifall någon av dem stämmer överens med teorin om Higgs bosoner.

Men CERN tror inte för en sekund att de ska kunna hantera allt data själv. Nu måste data ut i världen för att de verkliga beräkningarna av partikelspåren ska kunna köras, i gridden, molnet, eller vad du vill. Tvärtom ställer universitet runt om i världen upp med superdatorkapacitet för att tugga på CERNs data, så även Sverige.

CERN använder sig av 11 datavägar med 10 gigabit per sekund, till 11 undercentraler på nivå 1, där samma beräkningar utförs igen för säkerhets skull och datat görs tillgängligt för forskarna. Sju i Europa, två i USA, ett i Kanada och ett i Taiwan. Det långtidslagras också. Mottagarländer är till exempel Tyskland, England, Holland och Sverige, där Sverige till och med har tre nivå-1-centraler. Man räknar med en kontinuerlig dataström på cirka 10 gigabit per sekund in i Sunet för vidare befordran till de universitet som ska vara med och tugga.

Därifrån kan data hämtas av de egentliga forskarna på cirka 130 datorcentraler på nivå 2. Alla forskare kan visserligen nå data från alla nivå 2-centraler, men har sin egen central som bör användas normalt. Det är i nivå 2 som simuleringarna av partikelspår utförs.

Så här långt i datakedjan har inga vetenskapliga resultat uppnåtts, utan man räknar med att de första resultaten ska kunna påvisas i slutanvändarnas simuleringar, men förmodligen inte förrän efter 2-3 års utvärderingar.

Och det är de cirka 10.000 anslutna forskarna som sitter allra sist i kedjan som ska utvärdera partikelspåren och med hjälp av sin erfarenhet avgöra om vi hittat lösningen på varför någonting väger något.

GRÖNA CERN OCH PROCESSORUTVECKLINGEN

Som tur är, är partikelspårberäkningar utmärkt lämpat för massivt parallella beräkningar. En ”händelse” kan tankas in i en processor och där går den i 6-8 timmar utan att behöva kommunicera med någon annan process. Skulle just den processen krascha är det därför ingen ko på isen utan man startar bara om beräkningen i en annan processor, medan den första bootar om. Nästa händelse kan omedelbart tankas in i nästa processor och så där kan man hålla på mycket effektivt och tanka ett helt High Performance Cluster fullt på kort tid.

I vilket fall som helst så behövs det ständiga effektiviseringar i datorparken för att man ska kunna hänga med i de ständigt ökande dataflödena och ändå hålla sin 2,9 MW tillåtna effekt. Sedan 2006 har Intel lyckats pressa ned effektåtgången för Atom-processorn med cirka 90 % och priset per krets med cirka 65%. Xeonprocessorn har ökat 9 gånger i effektivitet sedan 2005, vilket kan räknas om som 18% energibesparing för hela serverparken (om man skulle ha bytt). Vill man bara behålla prestanda kan man klara sig med niondelen så många servrar och spara cirka 92% av inmatad effekt.

Det är sånt här som CERN jagar hela tiden. Men det räcker inte med detta. Det måste in flera kärnor i processorerna för att man ska kunna vinna ännu mer energi. När det gäller att knäcka problem med partikelbanor kan man aldrig få nog av processorkraft. CERN Openlab studerar hela tiden om det finns nyare, effektivare processormodeller och just nu ligger tonvikten på Xeon 5500-processorer. Det hela provas med ett program som försöker simulera partikelspår i detektorerna Alice och LHc anpassade för multitrådad körning på Intels x86-arkitektur.

Man provade 5500-processorernas SMT- och turbolägen. SMT-läget visade sig öka prestanda med mellan 15 och 20%. Man visade också att den nya lågspänningsvarianten Nehalem är 36% effektivare än den förra Xeon-processorn i 5400-serien utrustad med DDR2-minne. För att få samma prestanda med servrar från förra generationen hade man behövt 720 maskiner till vilket hade kostat

mer och dragit mera ström. Baserat på ett medelpris på energi i Europa om 0,15 Euro/kWh torde energibesparingen inbringa 850.000 Euro över tre år. Under våren 2010 ska CERN ta fler än 2000 dubbelprocessorservrar i drift för att möta beräkningskraven från de fyra detektorerna i LHC.

Egentligen menade CERN-folket att det var bra att LHC stannade som den gjorde vid stora smällen i början av året, för nu har man fått en chans att bygga upp en betydligt effektivare datormiljö än man hade då.

Men sanningen är att CERN Openlab aldrig blir nöjda. Det är eldkastare som gäller när CERN jagar Intel efter effektivare processorer. De kommer att fortsätta fråga och fråga och stöta på Intel och AMD och kräva effektivare maskiner.

KONTROLLRUMMET

Alla dessa godsaker, från den första linjäracceleratorn LINAC som extraherar protonerna från vätgasen från början, SPS – Super Proton Synchrotron – som tar upp dem till 450 GeV, till LHC som tar dem vidare till 7 TeV, ja i stort sett alla acceleratorer på hela CERN körs från ett centralt kontrollrum. I samma rum sitter folket från kryodriften, tillsammans med tekniker som sköter kylvatten, el och telefoni.

Här sitter alla de som får ha nöjet att krocka strålarna och se resultaten, i olika ”öar”. Vi betraktar kontrollen för SPS uppifrån, från sammanträdesrummet.

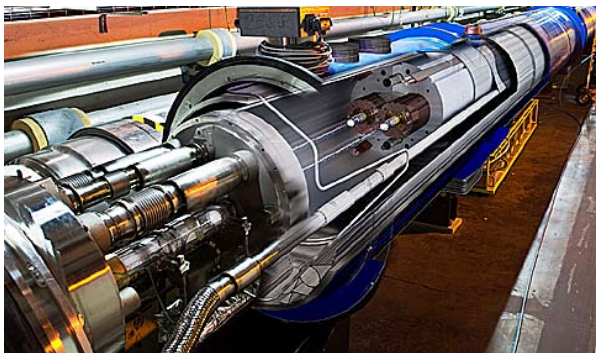
LHC-delen av kontrollrummet. Skärmarna på väggen visar strålens status, alltså vilka delar av ringen som har stråle, vilka som är tillräckligt kalla, i vilken fas av strömförsörjning supraledarna är osv. Champagneflaskorna vid pilen är kvar från den förra, lite väl förhastade uppkorkningen.

Titta, det smäller! Ett finger pekar darrande på punkten där strålarna möts. De båda diagrammen visar horisontella och vertikala positioner och där de går igenom varandra möts strålarna.

”Konstruktionen består av 1 232 rör, så många att man behövde en sammansättningsfabrik för framställnigen.”

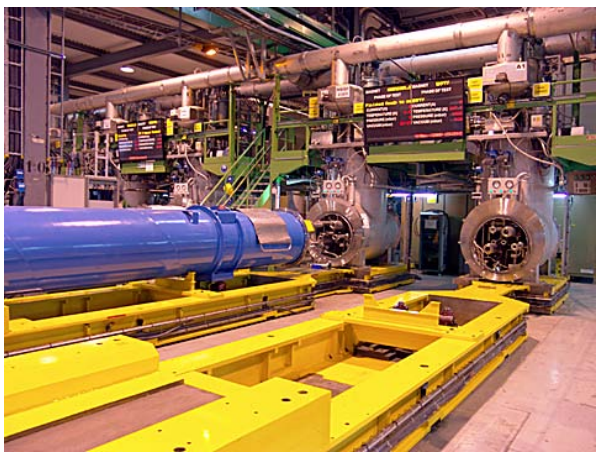
MAGNETRÖRENS KONSTRUKTION – ETT BESÖK PÅ FABRIKEN

Partiklarna i LHC-ringen böjs av på sin bana runt ringen av supraledande magneter kylda av flytande helium. Magneterna ligger inneslutna i en komplex struktur inuti ett sk dipolrör, helt enkelt eftersom magnetslingorna inuti dem bildar en helt vanlig dipol med en nord- och en sydpol.

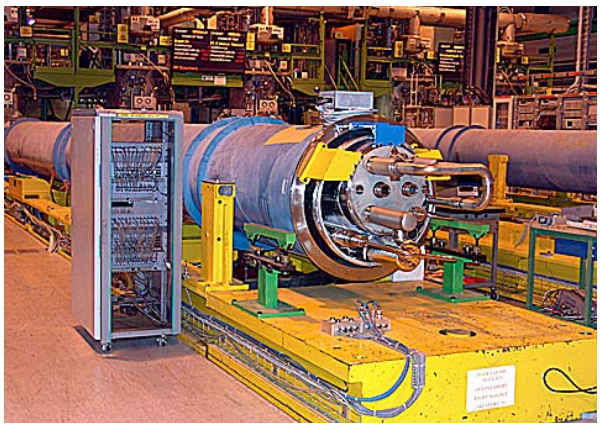


De numera världsberömda dipolrören i LHC-tunneln ser ut så här i genomskärning. Strålarna går runt i de två rören som det ”lyser” ur, som i sin tur är inrullade i paket med supraledare. Röret är i övrigt en tank fylld med flytande helium. Supraledarna skarvas i de bälgformade rören till vänster, och det var där det small.

Konstruktionen består av 1 232 rör, så många att man behövde en sammansättningsfabrik för framställnigen. Efter att rören byggts färdiga måste de provas. Det görs genom att röret ansluts till en dockningsstation som får simulera nästa rör i kedjan, samtidigt som man kan ta ut mätdata. Alla totalt 8000 magnetspolar, inklusive olika korrigeringsmagneter, fick provas och det tog sammanlagt tre år.

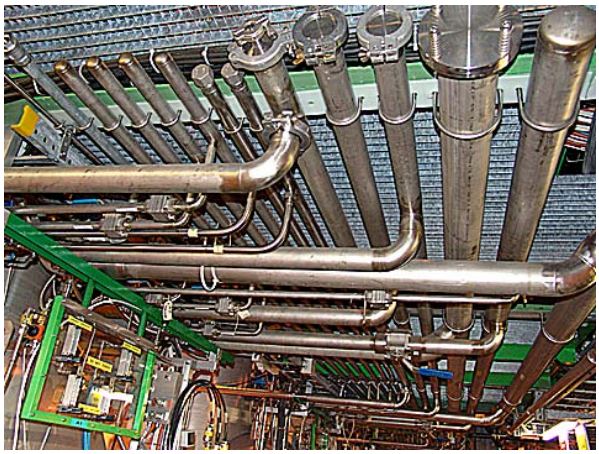


Här är framänden av dockningsstationen. Du ser ett rör till vänster som ska till att anslutas och provas. Rören väger många ton och måste ligga på massiva stålfundament. Displayen ovanför visar hur provet går genom att rada upp de viktigaste parametrarna.



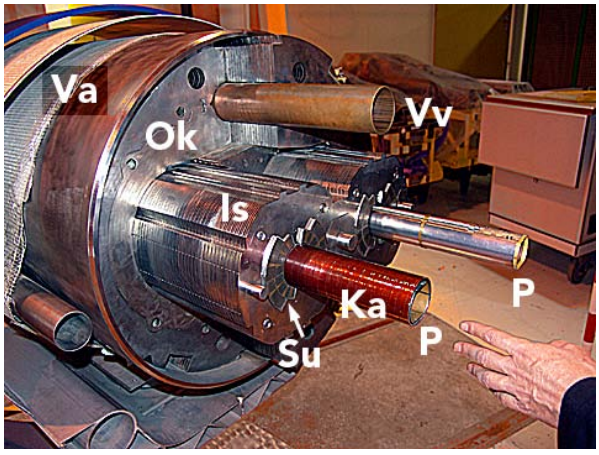
Rören är oerhört komplicerade inuti. Så här ser ena änden av röret ut, den ände som inte ansluts till dockningsstationen, innan man sätter på en ändkåpa på den, för att kunna pumpa vakuum.

Här är bakänden av dockningsstationen. Här ansluts alla mätinstrument.



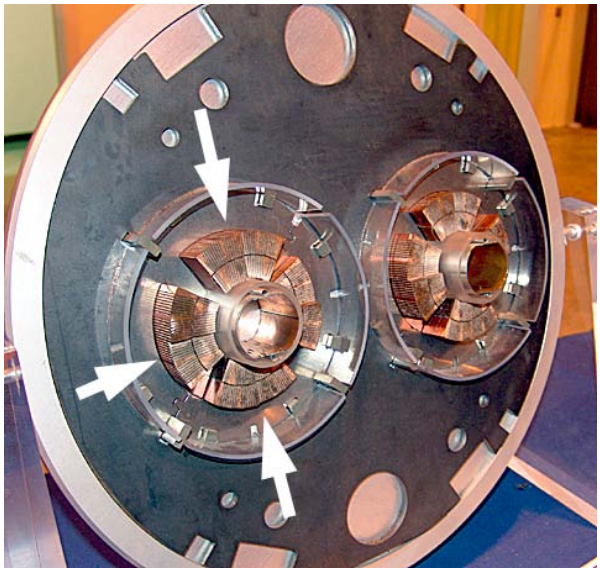
Ovanför dockningsstationen finns en armé av rör för försörjning med helium, vakuum och alla andra gaser mm som ska till vid provet, för att simulera förhållandena i ringen.

SUPRALEDARNA



Här visas dipolrörets viktigaste komponenter. P är protonrören där partikelpaketen far fram. Rören är omlindade med gulaktig kaptontejp (Ka). Utanpå detta ligger supraledarpaketen (Su). De hålls inspända så att de inte kan röra sig, av omagnetiska inspänningslameller (Is) i austenitiskt rostfritt stål som inte blir sprött vid 1,9 K. Alltihop omges av ett för magnetfältet kortslutande, gammalt hederligt järnok (Ok). Behållaren som oket ligger i, är fylld med flytande helium på 1,9 K. Genom värmeväxlarröret (Vv) flyter helium med 1,8 K och tar med sig eventuell överskottsenergi ut. Runt detta finns en vakuumkammare (Va) som agerar som termosflaska som skydd mot omgivningstemperaturen.

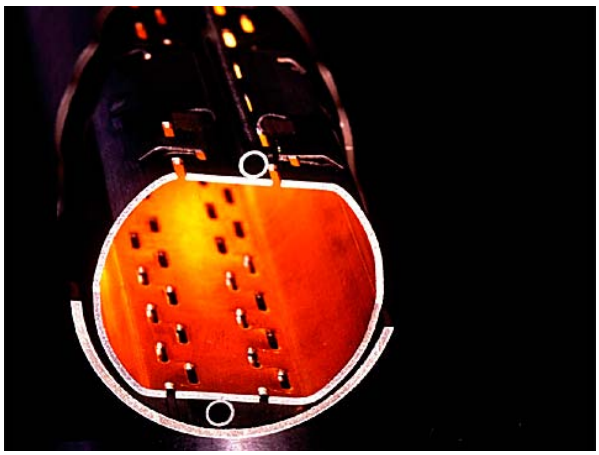
Det yttersta röret är ett aluminiumrör med cirka en meters diameter.



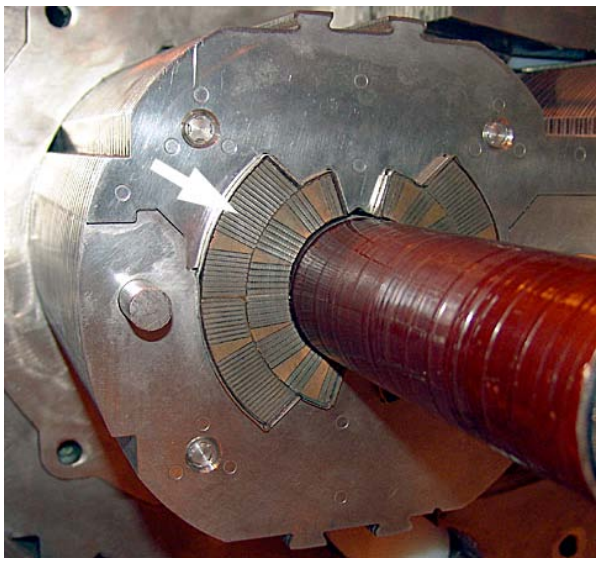
Kvadrupoler, alltså i princip två korslagda magnetfält, används för fokusering av strålen. Det finns cirka 400 av dem i LHC. Du ser de fyra lindningarna vid pilarna. Utöver detta finns sextupoler och oktupoler med ytterligare strålformande uppgifter.

Varje supraledande kabel är tjock som ett finger och innehåller 6000-9000 kardeler av niob-titan, som blir supraledande vid 9 K. Kardelerna är 7 mikrometer i diameter. Skulle man hålla upp en oisolerad kabel i luften skulle den självantända på grund av den snabba oxideringen av den väldigt stora sammanlagda ytan. Av den anledningen visas de enskilda kardelerna bara nedstoppade i alkohol som dels löser upp isoleringen, och dels håller luften borta.

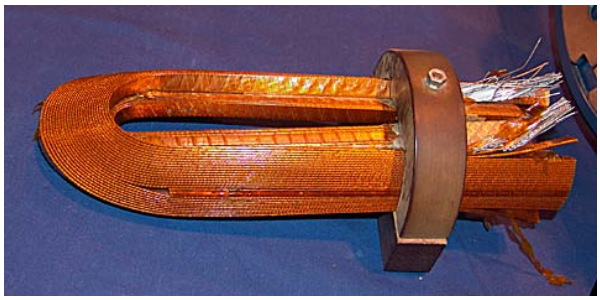
”Det är väldigt mycket metall alldeles intill supraledarna och de leder ju trots allt 11 800 ampere.”



Strålröret är et litet underverk i sig. Det är cirka 3 centimeter i diameter och är lika kallt som resten av dipolen, alltså 1,9 K. Innan utrustningen tas i bruk skulle man helst vilja hetta upp röret några hundra grader för att ”gasa av det”, alltså för att alla gasmolekyler som fastnat i metallen ska ge sig av och kunna pumpas ut, men det går inte i LHC. I stället har röret en yttre mantel, som blir något kallare än det inre röret. Därför vandrar alla lösgjorda molekyler ut genom de små hålen och fastnar på det yttre röret, en sorts kryopumpning.



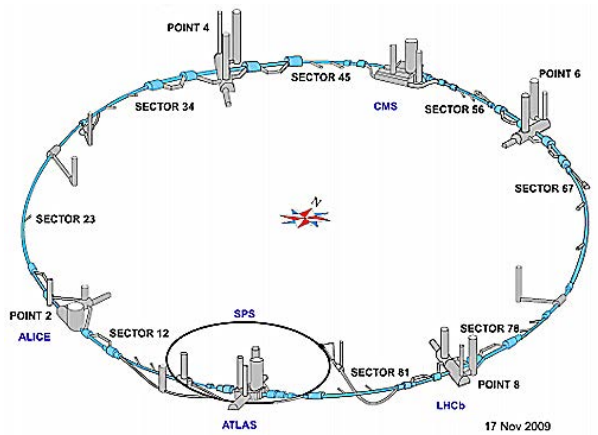
En närbild av supraledarpaketen visar hur buntarna av ledare ligger hopstaplade. Det är väldigt mycket metall alldeles intill supraledarna och de leder ju trots allt 11800 ampere. Är man inte rädd för kortslutning. Nej. Alla vanliga, resistiva metaller som koppar eller stål, är att betrakta som isolatorer i jämförelse med en supraledare.



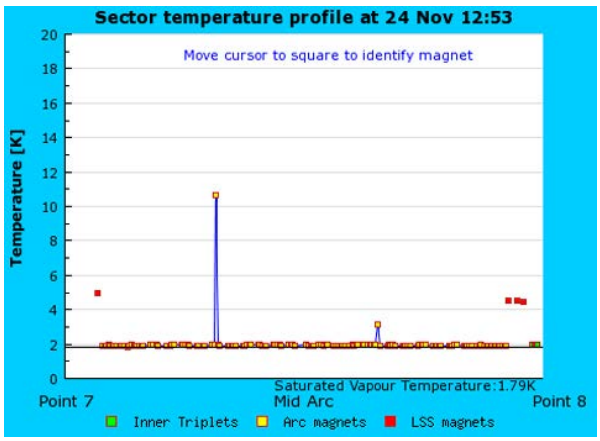
Där röret tar slut måste supraledaren vända tillbaka. Det rör sig trots allt om en spole. Här ser du en sådan ände. Den är ungefär tjock som en överarm.

SEKTORERNA

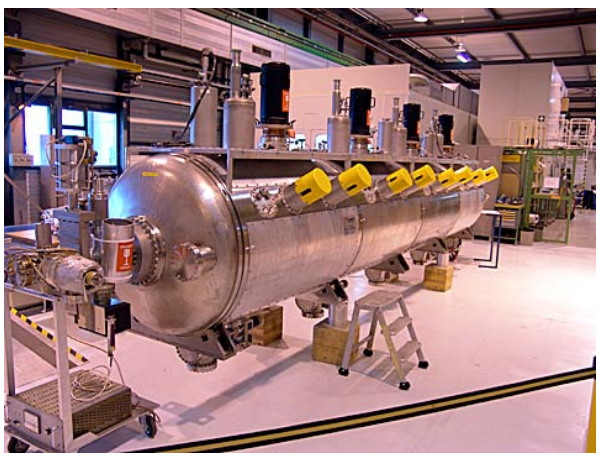
LHC-ringen på 27 kilometer är indelad i åtta sektorer av lika längd som drivs, sköts och förses med helium och magnetiseringsström (11.800 ampere, cirka 2 volt) individuellt.



Sektorerna nämns efter sina ändpunkter (point 1-8), nämligen sektor 12, sektor 23 till sektor 81.



Vissa magneter var ännu inte helt kalla ännu när artikeln skrevs, eftersom temperaturen var på väg ned igen, efter olyckan. En översiktsbild av alla magneter i sektor 7-8 visar att två magneter avviker från 2 kelvin och ligger på 3 respektive 11 K. Grabbarna med skiftnycklarna är redan där. Alltihop ska ned till 1,9 K så småningom. Temperaturen i värmeväxlarröret ligger dock på 1,8 K.



På två ställen på ringen sitter det acceleratorkaviteter som tar upp protonerna till 7 + 7 TeV och bibehåller dem där. Inte så att protonerna kan accelereras till att gå så mycket fortare. De går redan med nästan ljusets hastighet när de kommer in i LHC, men vidare acceleration gör dem väldigt mycket ”stöddigare”, ökar den relativistiska massan. De bär med sig mera energi runt i ringen så smällarna blir kraftigare, när det väl smäller. Acceleration från inkommande 450 GeV till 7 TeV tar cirka 20 minuter. Alla de 3000 paketen innehåller då cirka tillsammans 360 megajoule energi.

HF-energi på 352 megahertz, synkront med protonpaketen och med ett par hundra kilowatts effekt, matas in i de svarta rören upptill och får ”dra” paketen framåt genom flera kaviteter inuti den långa behållaren.

OCH OM PROTONERNA SLINKER UT?

Efter att protonpaketen vandrat runt i ringen i cirka 10 timmar har kvaliteten sjunkit så mycket, genom att så många protoner vandrat ut till att forma en slags gloria runt paketen, som därefter kapas bort, att man är tvungen att dumpa paketen i ett strålmål (beam stop) och fylla på ringen med nya, fräscha protonpaket. De båda strålarna har ungefär samma energi som ett järnvägståg på 400 ton vid 150 km/t. Den energin räcker för att smälta 500 kilo koppar, men egentligen använder man ett block på 10 ton grafit i änden av en 60 meter lång gruvgång vid point 6. Det klarar att absorbera 360 MJ, men bara om strålen kommer dit defokuserad. Efter att hela strålen brutits ut ur ringen med en särskild kickermagnet som slås på under drygt 88 mikrosekunder, får den passera genom en defokuseringsmagnet, så den når grafikblocket som en dusch, ungefär.

Därefter är det dags att för-cykla supraledarna för att få dem på hugget igen, fylla på ringen med nya protoner, accelerera dem under 20 minuter och sen kan man köra ringen i ytterligare 10 timmar.

En enda proton har samma energi som en mygga. Den kanske man skulle kunna klara, men fick man ett paket genom magen skulle man förmodligen förgasas. Det kan borra hål genom en stålvägg.

Skulle man förlora kontrollen över en avböjningsmagnet och råka dumpa hela strålen rakt ut i maskineriet skulle man förstöra ganska mycket av utrustningen (Smälta! Grilla! Förinta!). Resultatet skulle bli ungefär som om sagda järnvägståg släpptes lös nere i tunneln.

OLYCKAN: EXAKT VAD HÄNDE?

Första gången man försökte injicera protoner i LHC-ringen åt båda hållen var 10 september 2008.

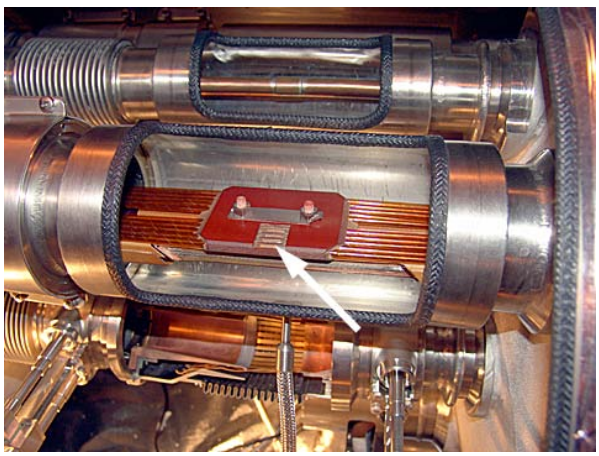
Supraledarna i de 1 232 dipolrören är hopsvetsade i cirka 10 000 kopplingspunkter. Alla rören i en hel sektor är seriekopplade och bildar en total längd på 3,5 kilometer. Det fanns ett problem i sektor 34, där en punktsvets var slarvigt utförd och inte höll tillräckligt låg resistans. När den fulla strömmen, 11.800 A, släpptes på, började förbindningen värmas upp och blev till en normal ledare med resistans, varpå den smälte.

Olycksplatsen. Här har det smält och därpå smällt. Det är väldiga strömmar och du ser hur ledaren bara förgasats och metallen sprutat åt alla håll.

När ett rörsystem är fyllt med åtskilliga hundra ton flytande helium, nedkylt till ett par grader över absoluta nollpunkten och temperaturen på någon punkt plötsligt går upp över den gräns då supraledning uppstår (quench)

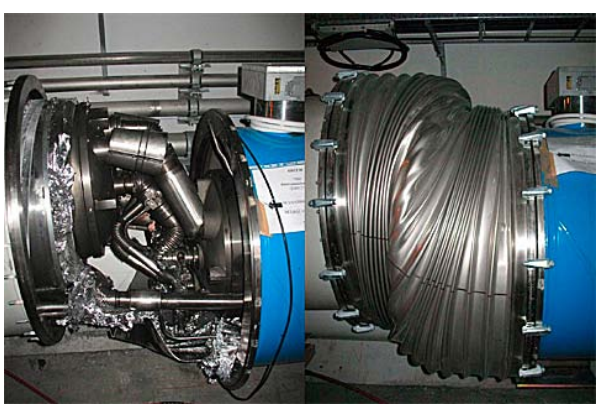
”Supraledarna i de 1 232 dipolrören är hopsvetsade i cirka 10 000 kopplingspunkter.”

kommer all den energi som lagras i supraledaren att avges just där i en enda jättesmäll. I LHCs fall rörde det sig om många gigajoule.



En korrekt skarv ser ut så här. Det är flera parallella ledare som skarvats.

I och med att spolarna utgör en stor induktans, vill strömmen fortsätta flyta. Det resulterar i att spänningen höjs över avbrottsstället och en gnista uppstår. Ingenting brann, för det fanns inget syre runt omkring, men värmeutvecklingen förgasade det flytande heliumet och gasvolymen ökade explosivt.



Ett av ställena där ett dipolrör fallit av fundamenten på grund av tryckvågen. Till höger sitter skyddsbälgen kvar, till vänster är den borttagen. Just här skedde ingen explosion.

Tyvärr visade sig sprängblecken inte ha tillräckligt stor area, utan trycket fortsatte att byggas upp och magnetröret revs sönder. Tryckvågen som uppstod, rörde sig längs rören och fick dem att hoppa till och flytta sig rent fysiskt (ramla av sina fundament och ned på golvet) trots att varje rör väger 10 ton. Supraledarna i alla rör quenchade samtidigt. Som tur var skadades inga magneter, men strålrören smutsades ned med damm och splitter.

Varför upptäcktes inte problemet vid mätningarna efter installationen? Svaret är att mätnigarna inte var tillräckligt noggranna. Efter olyckan utvecklade man nya

Visst gör det ont när supraledare brister?

Det finns inget botemedel mot quench, men tidig upptäckt gör att man åtminstone kan minimera skadorna. Med flera temperatursensorer runt om i ringen kan man upptäcka förändringar och snabbt ta upp hela konstruktionen över quenchtemperaturen med inlagda värmeslingor, i princip vanlig värmetråd i kanthal. Det innebär att den lagrade energin kommer att friges i hela konstruktionen istället för på en punkt, vilket är det näst bästa.

Supraledande magneter har dessutom en sk lärkurva. När man ökar strömmen kommer magneten att lära sig att klara den ökande strömmen genom att quencha naturligt flera gånger. Men då quenchar hela magnetsystemet på en gång. Ingen kunde veta att det fanns delar som inte hade nog kylkapacitet för att klara en felsvetsad skarv.

CERN är en av världens största ägare av helium. Under igångkörningsfasen förbrukade man allt producerat helium i världen under lång tid, men numera sparar man noga på det man har, eftersom det är dyrt. Man har inte ens tillräckligt lagringsutrymme för att lagra allt helium i gasform, utan delar av ringen måste alltid vara kylda och fungera som lager för gasen.

Om man ska meka med magneterna måste de upp till rumstemperatur. Det kan ta flera veckor. Då avdunstar gasen och tas upp till ytan för lagring. Sedan tar det fyra veckor att kyla ned allt igen. CERN förfogar över flera fabriker för tillverkning av flytande helium.

Att bara kyla ned heliumet igen kostar flera tankbilar med flytande kväve, som man använder i första steget

för att ta ned temperaturen till –196 grader, innan gasen går vidare in i kompressorkylarna och görs flytande. För att komma från flytande helium till superflytande helium pumpar man därefter bort all gas ovanför vätskeytan, vilket förbrukar så mycket energi från vätskan att temperaturen sänks till 1,9 K. Det är kallare än i yttre rymden, som ligger på ungefär 2,7 K. Helium vid denna temperatur kallas för en kvantvätska. Den är ett superkylmedel eftersom den är en supraledare för värme. Den får också väldigt låg viskositet och kan penetrera de allra minsta öppningar. Tyvärr betyder det att den också är duktig på att läcka ut. Dessutom kommer värme från exempelvis dåliga svetsar att ledas runt i konstruktionen väldigt fort.

Vad har man gjort åt saken? Efter olyckan uppgraderas mät- och säkerhetssystemet. Det var lite av ”Ajdå, det tänkte vi inte på”.

- 14 kvadrupolmagneter fick bytas ut.
- 39 dipolmagneter (-rör) fick tas upp till ytan, provas och justeras och sättas tillbaka igen.
- Fler än 200 elektriska anslutningar fick göras om (punktsvetsar)
- Över 4 kilometer strålrör fick tvättas från sot.
- Hundratals nya, större sprängbleck installerades i heliumsystemet
- Flera tusen nya detektorer installerades runt hela ringen vilket krävde 250 kilometer ledning.

CERNs egen beskrivning av reparationen och de förbättringar som gjordes efteråt.

GALAXER I MINIATYR

Vad är det egentligen som krockar? Och, krockar det faktiskt? Nästan inte.

Runt strålrören löper klumpar av protoner, cirka 30 centimeter långa och cirka 16 mikrometer i diameter. Ska vi säja ”spjut” av protoner? De innehåller ett par hundra miljarder protoner vardera. Spjuten far fram med nästan ljusets hastighet och ligger staplade intill varandra med 25 nanosekunders avstånd. Sålunda passerar de förbi en given punkt med 40 MHz.

Du kan betrakta varje spjut som en galax ungefär. 40 miljoner gånger per sekund möts alltså två galaxer i en detektor och gör som galaxer brukar, far i stort sett tvärs igenom varandra. Någon sällsynt gång snuddar en proton vid en annan och orsakar en skur av skräppartiklar, en ”händelse”. Man räknar med att det kommer att uppstå ungefär 20 händelser vid varje krock, även om den övervägande majoriteten är sk ”känd vetenskap”.

Vid vad som måste vara lika sällsynt som samma händelse i Universum stöter två protoner någon gång i varandra nästan axiellt så att de krossas sönder fullständigt, sk ”ny fysik”. Man förväntar sig att detta ska hända ungefär en gång varannan månad, alltså en gång per 207 360 000 000 000 (1x10E15) möten eller cirka 2x10E24 protoner. LHC och dess detektorer är byggda för att gå kontinuerligt, dag och natt i 25 år.

SÄRSKILT TACK TILL

Dr. Wolfgang von Rüden, chef för CERN Openlab, för tekniska upplysningar.
Olof Barring, IT/Fabric Infrastructure and Operations CERN, för korrektur.

FEM BRA GREJOR MED PARTIKELFORSKNING

- Har vi tur får vi reda på hur universum uppkom.
- Har vi mera tur får vi reda på varför saker väger något.
- CERN driver Intels processorutveckling framåt med stora släggan.
- Partikelfysik är ett av de få ämnen där all världens länder frivilligt kan komma samman, vara vänner och dela med sig av resultaten utan politiska åtskillnader. Alla medverkande länder har fått bidra med någon del av apparaturen, som finansierats av det egna landet.
- Miljövänlig drift är viktigt för CERN.
- Allting är öppet. Det finns inga hemligheter, inga hemliga labb. All information kan laddas ned av alla som önskar.

SÅ GÅR DU VIDARE

CERNS huvudsite: cern.ch
Särskilt om LHC: http://lhc.web.cern.ch/lhc

ATLAS-DETEKTORN

Uppbyggnadsarbetet av Atlas-detektorn, LHC och föracceleratorn SPS (Super Proton Synchrotron) beskrevs i mycket stor detalj i Nätverk & Kommunikation 2003/12 och 2003/13. Du hittar artiklarna på http://techworld.idg.

se/2.2524/1.275993/450-gigaelektronvolt-mot-universums-skapelse och http://techworld.idg.se/2.2524/1.276009/har-ska-universums-hemligheter-avslojas. Systemskissen av Atlas är så noggrann att CERNs projektledare tog hand om den och använde den i CERNs internutbildning.
Atlas-detektorns egen sajt: atlas.ch
CERNS databehandlingstjänster CERN Openlab
http://proj-openlab-datagrid-public.web.cern.ch/proj-openlab-datagrid-public

Mera information om CERNS databehandling på nivå noll (Tier 0). Behandlingen är indelad i ett antal subprojekt som utgör grundtjänsterna i Tier 0:
http://batch.web.cern.ch/batch
http://plus.web.cern.ch/plus
http://castor.web.cern.ch/castor
http://phydb.web.cern.ch/phydb

Sen kan du fortsätta att läsa om Worldwide LHC Computing Grid, alltså allmänt om datormolnet som ska hantera LHC-data: http://lcg.web.cern.ch/LCG/public

Teknikjournalister har ett ordspråk: En broschyr från CERN säger mer än tusen skrämselartiklar i svensk kvällspress. Läs den här broschyren och du har fått i dig mera hårda fakta än en svensk kvällstidningsjournalist får i sig på ett år:
LHC; The Guide: http://cdsweb.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009-003-Eng.pdf

En forskare, som kallar sig Bad Rapper Alpinekat (Katherine McAlpine) har gjort en rapversion av hela forskningsprojektet, nämligen "The Large Hadron Rap" på YouTube. Se forskarna (som helst vill vara anonyma) dansa runt i tunnlarna:
www.youtube.com/watch?v=j50ZssEojtM

FASCINERANDE FAKTA OM LHC

- All världens vetenskapsmän och universitet arbetar tillsammans för att bygga upp LHC och dess detektorer och utvärdera resultaten. Data distribueras till 11 datorhallar världen runt och distribueras därifrån ut till 130 undercentraler, och därifrån till fler än 10 000 användare.
- Data från vart och ett av experimenten på LHC kan fylla 100 000 dubbellagers DVD-skivor varje år.
- Varje supraledande kabel är tjock som ett finger och innehåller 6000-9000 kardeler av niob-titan. Kardelerna är 7 mikrometer i diameter och skulle man lägga ut dem alla i en lång rad, skulle de räcka fram och tillbaka till Solen sex gånger. Skulle man hålla upp en oisolerad kabel i luften skulle den självantända på grund av den snabba oxideringen.
- Protonerna rör sig i ringen med 0,999999991 gånger ljushastigheten. En proton passerar den 27 kilometer långa ringen 11.000 gånger per sekund. De båda strålarna har ungefär samma energi som ett järnvägståg på 400 ton vid 150 km/t. Den energin räcker för att smälta 500 kilo koppar.
- Protonerna kommer från helt vanligt väte. Varje dag förbrukar man dock inte mer än 2 nanogram väte, så för att göra av med ett gram får LHC hålla på i en miljon år.
- Trycket i strålrören är lågt, men inte noll. Det är ungefär en tiondel av "atmosfärstrycket" på Månen.
- När den 27 kilometer långa acceleratortunneln (som då hette LEP, Large Electron-Positron collider) grävdes ut, möttes de båda ändarna med ett fel på mindre än 1 centimeter.

FASCINERANDE FAKTA OM ICKE-VETENSKAP

I filmen Angels & Demons spelar Tom Hanks akademikern Robert Langdon som får fram bevis för att det gamla, hemliga broderskapet Illuminati är på väg att växa sig starkare. Illuminati anses vara den starkaste av alla hemliga organisationer och namnet ska uttolkas "De upplysta" alltså en organisation som har den absoluta kunskapen. Tror de.

När Langdon får fram bevis för att Illuminati har stulit antimateria från ett hemligt laboratorium på CERN, som de ska ha till att spränga bort sin ärkefiende Vatikanen, måste han och CERN-forskaren Vittoria Vetra skynda sig att få tillbaka antimaterien för att förhindra en katastrof.

Fast egentligen är det bara pseudovetenskapligt trams, eftersom antimateria är tämligen svårt att skapa i större mängder och i princip omöjligt att lagra. Ändå upprör dessa "fakta" en hel värld, plus Vatikanen.

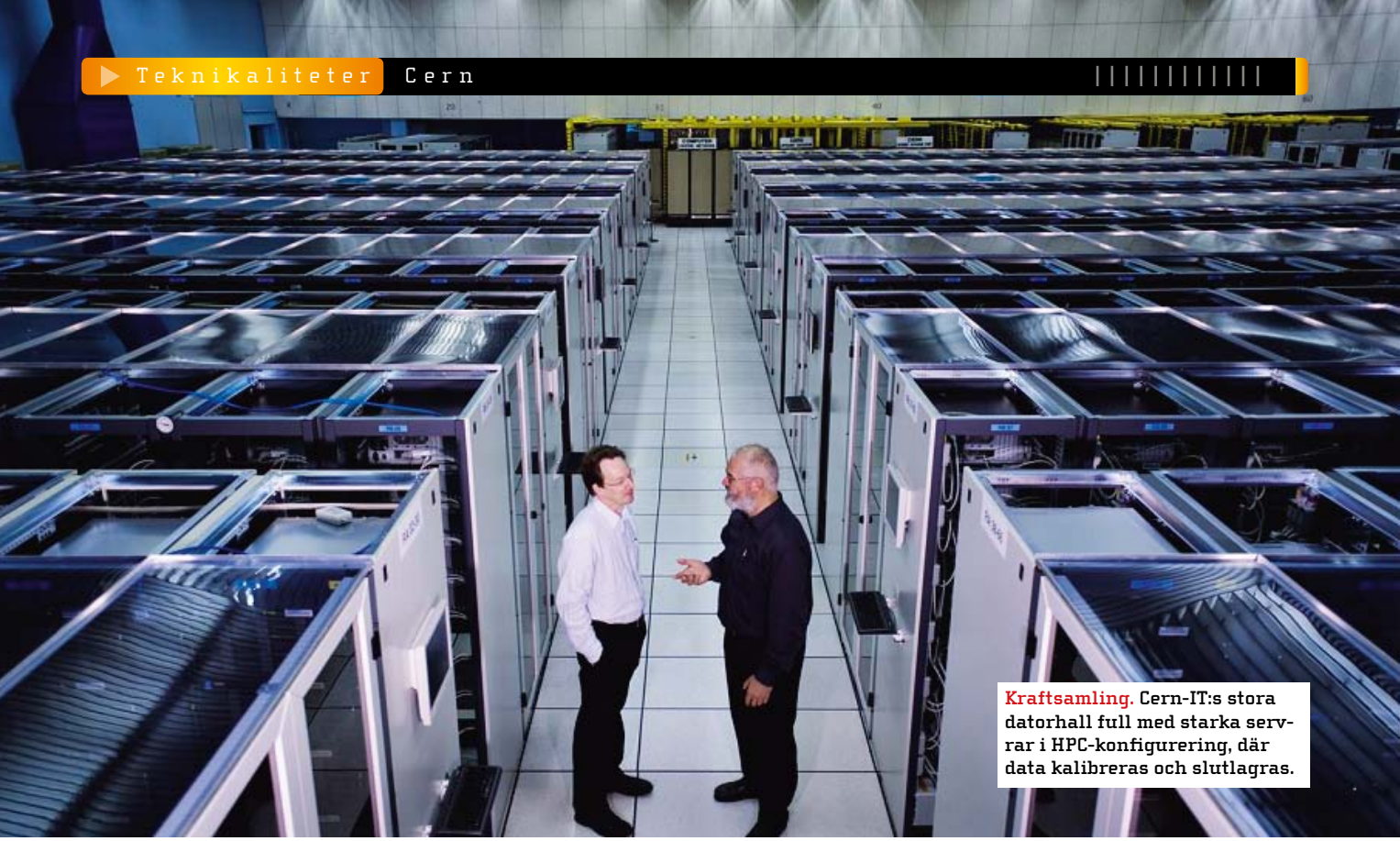
Folket på CERN är inte dummare än att de vänt detta till sin fördel och har skapat en webbplats där de berättar om varför det inte fungerar, och samtidigt försöker slå i läsarna lite riktig fysik. Det är inte utan humor man angriper saken. FAQn börjar till exempel:

Fråga: Finns CERN?
Svar: Jo, faktiskt. Du hittar oss till vänster om och lite ovanför centrum i staden Meyrin.

Fråga: Finns där röda tegelbyggnader fulla med vetenskapsmän i vita rockar som springer omkring med pärmar?
Svar: Nej, det är ganska långt från verkligheten. Vi har mest vita betongbyggnader och vetenskapsmännen har vardagskläder, och för det mesta bär de inte på pärmar.

Läs mer på: http://angelsanddemons.cern.ch
och på http://public.web.cern.ch/public/en/Spotlight/SpotlightAandD-en.html

Videoinspelningar av föreläsningar på CERN i ämnet finns här. Det är både nobelpristagare och "vanligt folk" som talar:
www.uslhc.us/Angels_Demons/schedule-videos.html



Kraftsamling. Cern-IT:s stora datorhall full med starka servrar i HPC-konfigurering, där data kalibreras och slutlagras.

De filtrerar en peta-byte data per sekund

Partikelacceleratorn i Schweiz ska förhoppningsvis lösa gåtan kring vad massa egentligen är. En utmaning på vägen är att filtrera ofantliga datamängder till volymer som kan behandlas med dagens datorer.

TEXT, FOTO & GRAFIK: JÖRGEN STÄDJE

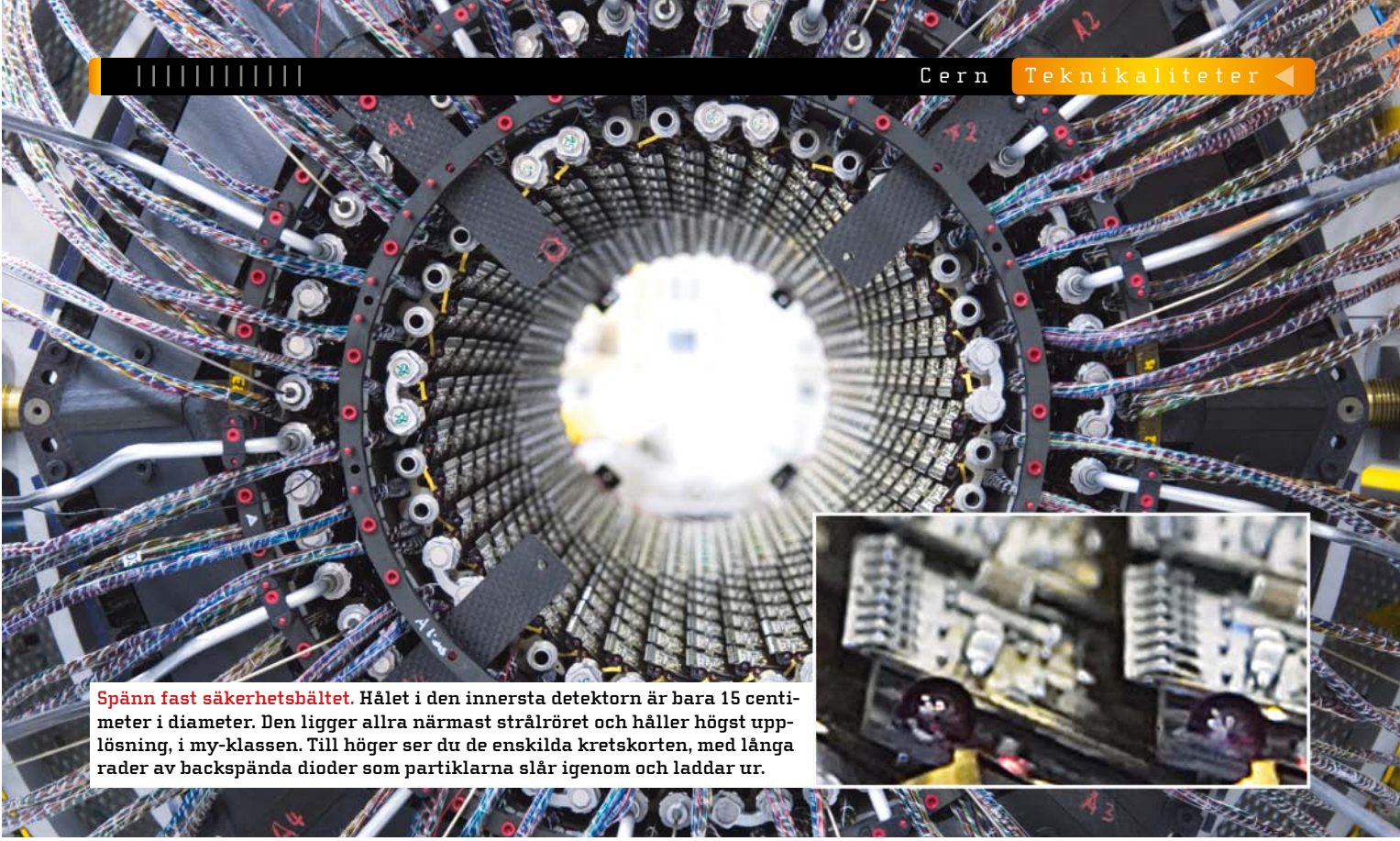
Nu går jorden under, ropade en del pessimister i fjol inför starten av partikelacceleratorn Large Hadron Collider (LHC) vid forskningscentret Cern i Schweiz. De befarade att partikelkollisionerna i LHC skulle skapa ett svart hål som kunde sluka hela planeten, men det enda svarta hål som uppstod var en slarvigt svetsad skarv i en av de supraledande magneterna i lagringsringen LHC. Ett ton flytande helium läckte ut i acceleratortunneln, men nu har LHC varit igång sedan början av november och jorden hade vid det här numrets pressläggning inte gått under. Arbetet med att studera materiens minsta beståndsdelar har tagit fart, och bland annat med försök att efterlikna omständigheterna vid big bang, för att utröna hur universum bildades.

Galaxer i miniatyr

Det finns många frågetecken att räta ut. Om all universums materia till exempel befann sig i en enda liten punkt vid universums födelse bör den ha expanderat jämnt åt alla håll efter smällen. Mätningar av mikrovågsbakgrundens ojämna struktur visar att det inte är så.

En annan teori säger att det vid smällen bör ha bildats lika många partiklar som antipartiklar. De bör då ha förintat varandra ganska snart och universum skulle ha bestått enbart av strålning. Så är det ju inte heller.

Genom att krocka blykärnor och åstadkomma ett så kallad gluonplasma (partikelgegga), det närmaste vi kommer big bang, ska man försöka ta reda på hur den stora smällen egentligen såg ut och vad som störde symmetrin. Kanske ett annat, intilliggande universum?



Spänn fast säkerhetsbältet. Hålet i den innersta detektorn är bara 15 centimeter i diameter. Den ligger allra närmast strålröret och håller högst upplösning, i my-klassen. Till höger ser du de enskilda kretskorten, med långa rader av backspända dioder som partiklarna slår igenom och laddar ur.

En annan gåta man hoppas lösa är vad massa egentligen är. Ingen vet varför partiklar väger något, men ett antagande är att det är deras interaktion med varandra (higgsfältet) som avgör massan. För att den teorin ska hålla måste man anta existensen av en hypotetisk komponent som man kallar higgsbosonen, en partikel som hittills aldrig har kunnat observeras. En förhoppning på LHC är att higgsbosonen ska kunna påvisas. Det skulle kunna ske genom att man krockar sönder en proton så att man får ut bosonerna.

40 miljoner gånger per sekund möts två så kallade protonspjut i LHC-ringen

Till det behövs minst 13 teraelektronvolts krockenergi och det är just vad som uppstår när två protonstrålar på 7,5 teraelektronvolt vardera slår ihop i mitten av Atlas-detektorn, ett av de experiment som utförs på olika platser på LHC-ringen.

Men vad är det egentligen som krockar? Krockar det över huvud taget? Nja, nästan inte. I LHC-ringen rusar vad man kan kalla protonspjut fram i strax under ljusets hastighet. De är ungefär 30 centimeter långa, mäter cirka 16 mikrometer i diameter och innehåller ett par hundra miljarder protoner var. De är staplade intill varandra med 25 nanosekunders avstånd och passerar förbi en given punkt med 40 megahertz. 40 miljoner gånger per sekund möts alltså två protonspjut i en detektor. Vid mötet passerar de i stort sett igenom varandra, men någon sällsynt gång snuddar en proton vid en annan och orsakar en skur av skräppartiklar. Ännu mer sällan – antagligen lika sällan som samma sak händer naturligt i universum – stöter två protoner ihop nästan axiellt, så att de krossas fullständigt. I LHC förväntar man sig att det ska hända ungefär en gång varannan månad. Anläggningen och dess detektorer är byggda för att gå kontinuerligt, dag och natt, i 25 år.

De fyra huvudexperimenten (Atlas, Alice, CMS och LHCb) på LHC-ringen är uppbyggda på ungefär samma sätt. De består av lager på lager av partikeldetektorer virade runt vakuumrören (strålrören), där partikelstrålarna krockar med varandra, med allt lägre upplösning ju längre ut man kommer.

Som en flottyrmunk

De inre detektorerna är kiselkretsar med dioder i mikrometerstorlek monterade på långa kretskort som helt omsluter röret, medan de yttre är olika typer av gasfyllda rör som i vissa fall är stora som hus. Experimenten själva är i storlek med tiovåningsbyggnader.

Dessutom finns det stora supraledande magnetslingor lagda i en ring (toroid, som en flottyrmunk) kring röret inuti experimen-

Fascinerande fakta om LHC

» **Vetenskapsmän och universitet** över hela världen arbetar tillsammans för att bygga upp LHC och dess detektorer och utvärdera resultaten. Data distribueras till elva datorhallar världen runt och flödar därifrån till 130 undercentraler och till sist till fler än 10 000 användare.

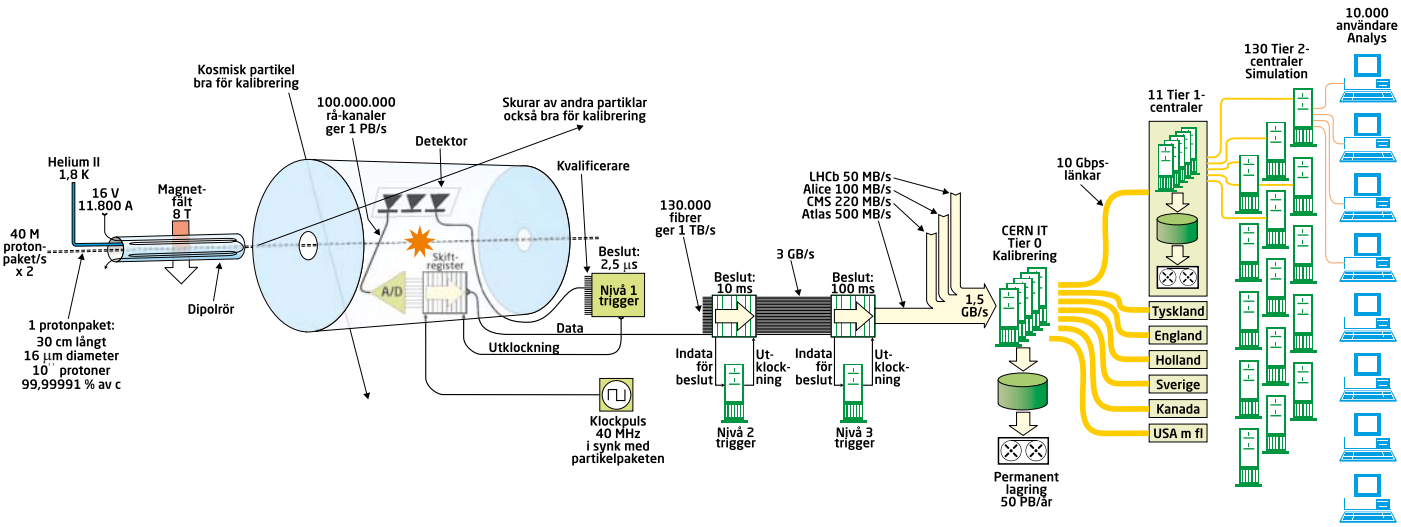
» **Data från vart och ett** av experimenten på LHC kan fylla 100 000 dubbellagers dvd-skivor varje år.

» **Varje supraledande kabel** i LHC är tjock som ett finger och innehåller 6 000 till 9 000 kardeler av niob-titan. Kardelerna är sju mikrometer i diameter och om man lägger dem i en rad skulle de räcka fram och tillbaka till solen sex gånger.

» **Om man håller upp** en oisolerad kabel i luften skulle den självantända på grund av den snabba oxideringen.

» **Protonerna rör sig** i acceleratorringen med 0,999999991 gånger ljushastigheten. En proton passerar den 27 kilometer långa ringen 11 000 gånger per sekund.

» **Strålarna som möts** har ungefär samma energi som ett järnvägståg på 400 ton i 150 kilometer i timmen. Den energin räcker för att smälta 500 kilo koppar.



Datafångst och datareduktion. Störningarna som uppstår när en partikel slår igenom en detektor omvandlas till digitala signaler. Sedan vidtar reducering av data i flera led, bland annat bortsilning av skräpdata, så att dataflödet över huvud taget ska kunna behandlas av datorer och i slutändan även av standarddatorer. På bilden är detektorerna åskådliggjorda som en rad med dioder, men det finns mängder av andra typer. Notera att kapaciteterna i vänstra delen av bilden räknas i byte per sekund. Först när vi talar datanät, till höger, övergår vi till bitar per sekund.

Strålar i helium. Dipolrören i LHC-tunneln ser ut så här i genomskärning. Strålarna går runt i de två rören i mitten som det ser ut att lysa ur som i sin tur är inrullade i paket med supraledare. Röret är i övrigt en tank fylld med flytande helium.

tet, som ska böja av de elektriskt laddade partiklarna på deras väg ut genom apparaten. Ju mera man lyckas böja av en partikel, desto kraftigare elektrisk laddning har den, och desto långsammare går den. Kurvradien är alltså ett mått på laddningen och farten.

Mellan lagren av detektorer ligger skal av metaller som ska stoppa partiklar med lägre energier. Därför kommer bara de allra mest energirika partiklarna (som bosonerna och deras restprodukter) att orka ända ut till de yttersta detektorerna utan att böjas av för mycket i magnetfältet och gå i spiral.

De störningar som uppkommer när en partikel slår igenom en detektor omvandlas i en 14-bitars A/D-omvandlare och skickas in i ett skiftregister som sitter monterat inuti detektorapparaten, där data klockas framåt med 40 megahertz klockfrekvens synkront med partikelpaketen. Det totala flödet in i alla skiftregister är ungefär en petabyte per sekund. Det är mera data än hela Europas sammanlagda teletrafik.

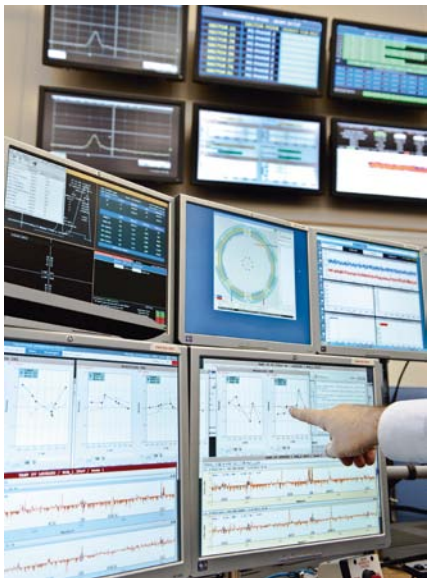
Vissa nyckeldetektorer ger besked om det är skräpdata eller en viktig händelse som passerar. Härifrån går data via fiber direkt till en beslutsenhet som med hjälp av komparatorer avgör om händelsen är värd att spara eller ej. Ett beslut måste komma inom 2,5 mikrosekunder och beslutet medför att data faktiskt klockas ut ur skiftregistren, i stället för att bara slängas.

Nu är dataflödet nere i ungefär en terabyte per sekund. Data matas ut som bitströmmar på optiska fibrer och tas upp till markytan, där de sammanställs.

Tre gigabyte per sekund

Den första silningen är tämligen rå, men dataflödet kan nu behandlas av datorer. Data skiftas alltså in i nästa skiftregister, där det vandrar framåt under tio millisekunder. Samma metod upprepas sedan, men den här gången är det en dator som avgör om triggning ska ske. Utdata ur registret har ett flöde på cirka tre gigabyte per sekund. Det är fortfarande för mycket data för att det ska kunna behandlas och kalibreras, så ännu ett filtersteg måste till. Samma metod används ytterligare en gång, men med betydligt intelligentare filtrering. Resultatet är ett dataflöde på 500 megabyte per sekund, bara från Atlasdetektorn.

HPC-klustren i Cerns datorhall, det man kallar för nivå 0, tar nu hand om den återstående datamängden för kalibrering. Varje händelse måste bestämmas till sin exakta tid och plats. Med plats menas i det här fallet en mätnoggrannhet ned till en mikrometer. Detektorn är inte lika noggrant uppbyggd, utan man har kalibrerat den med testpartiklar för att få se de enskilda detektorernas exakta plats. Ett exempel på detta är kosmiska partiklar som tränger igenom allt utan att avböjas, så även Atlasdetektorn. Man vet att den kosmiska partikeln går absolut rakt och måste därför kompensera sina mät-



Titta, det smäller! I kontrollrummet pekar ett darrande finger på punkten där strålarna möts.

ningar efter detta. Efter kalibrering slutlagras data på hårddiskkluster och slutligen på band. Det blir cirka 15 petabyte per år.

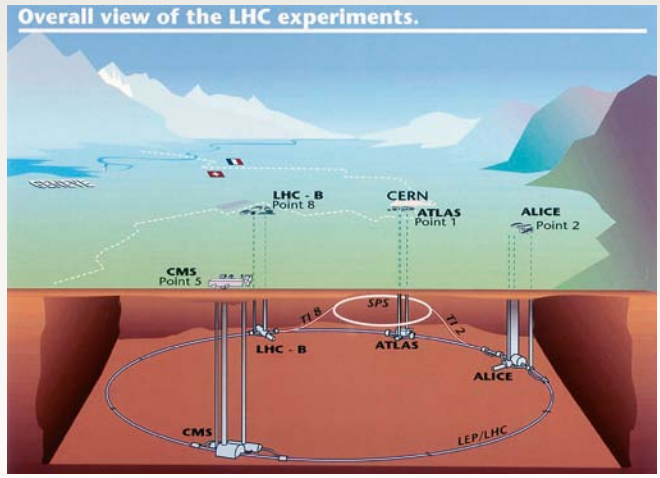
Med ledning av var i apparaten som den enskilda detektorn sitter och när i tiden störningen uppstod kan man bygga upp en 3d-bild av hur partiklarna har rört sig i detektorn samt deras energier.

Av utgångsvinklarna och energierna avgör man slutligen vilka partiklar man har sett och ifall någon av dem stämmer överens med teorin om higgsbosoner.

Ännu inga resultat

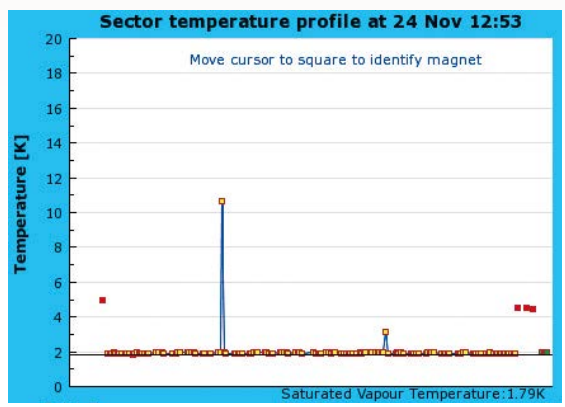
Cern kan inte hantera alla data själva. De verkliga beräkningarna av partikelspåren måste köras i gridden eller molnet eller vad du vill. Cern använder elva datavägar med tio gigabit per sekund, till elva undercentraler på nivå 1, där samma beräkningar utförs igen för säkerhets skull och data görs tillgänglig för forskarna. Data långtidslagras också. Mottagarländer är till exempel Tyskland, Storbritannien och Nederländerna samt Sverige som till och med har tre nivå 1-centraler. Data till dem går genom universitetsnätet Sunet.

Världens största krocktest



Stor spridning. LHC-tunneln ligger hundra meter under jord och runt den sitter i huvudsak fyra detektorer. Data från dem skickas ut över hela jorden för behandling.

Under kylning. Vissa magneter är inte helt kalla ännu. En översiktsbild av alla magneter i sektor 7 och 8 visar att två magneter avviker från två kelvin och ligger på tre respektive elva kelvin. Grabbarna med skiftnycklarna är redan där. Alltihop ska ned till 1,9 kelvin så småningom. Temperaturen i värmeväxlarröret är 1,8 kelvin.



Nu kan data hämtas av de egentliga forskarna på cirka 130 datorcentraler på nivå 2, där simuleringarna av partikelspår utförs.

Så här långt i datakedjan har inga vetenskapliga resultat uppnåtts. Man räknar med att de första resultaten ska kunna påvisas i slutanvändarnas simuleringar, men förmodligen inte förrän efter två till tre års utvärderingar. Sist i kedjan sitter cirka 10 000 forskare som ska utvärdera partikelspåren och avgöra om vi hittat lösningen på varför någonting väger något.

Jörgen Städjes alster hittar du under fliken "Städjes artiklar" på techworld.se/. Han nås på jorgen.stadje@techworld.se.

Fem fördelar med partikelforskning

1. **Om vi har tur** får vi reda på hur universum uppkom.
2. **Om vi har mera tur** får vi reda på varför saker väger något.
3. **Cern driver Intels** processorutveckling framåt.
4. **Partikelfysik är ett** av få områden där alla länder frivilligt samsas och delar med sig av resultaten.
5. **Miljövänlig drift** är viktigt för Cern.

Bang. Första smällen i Atlas inträffade klockan 14.22 den 23 november 2009.

Så går du vidare

» **Atlas-detektorn, LHC och föracceleratorn SPS** beskrivs i detalj i Nätverk & Kommunikation 2003/12 och 2003/13, se http://techworld.idg.se/2.2524/1.275993 och http://techworld.idg.se/2.2524/1.276009

» **Cerns huvudsajt:** cern.ch
» **Om LHC:** http://lhc.web.cern.ch/lhc
» **Atlas-detektorns egen sajt:** atlas.ch
» **LHC; The Guide:** http://cdsweb.cern.ch/record/1165534/files/CERN-Brochure-2009--003-Eng.pdf

TEXT
JÖRGEN STÄDJE

BILD
JÖRGEN STÄDJE
CERN

Det blev inget högljutt plång. Ingen visare slog i botten. Det blev bara en liten obetydlig knäck på en kurva. Och beviset är inte absolut, ändå hävdar forskarna att man hittat Higgspartikeln. Hur gick det till egentligen?

KROCKEN GAV KLARHET

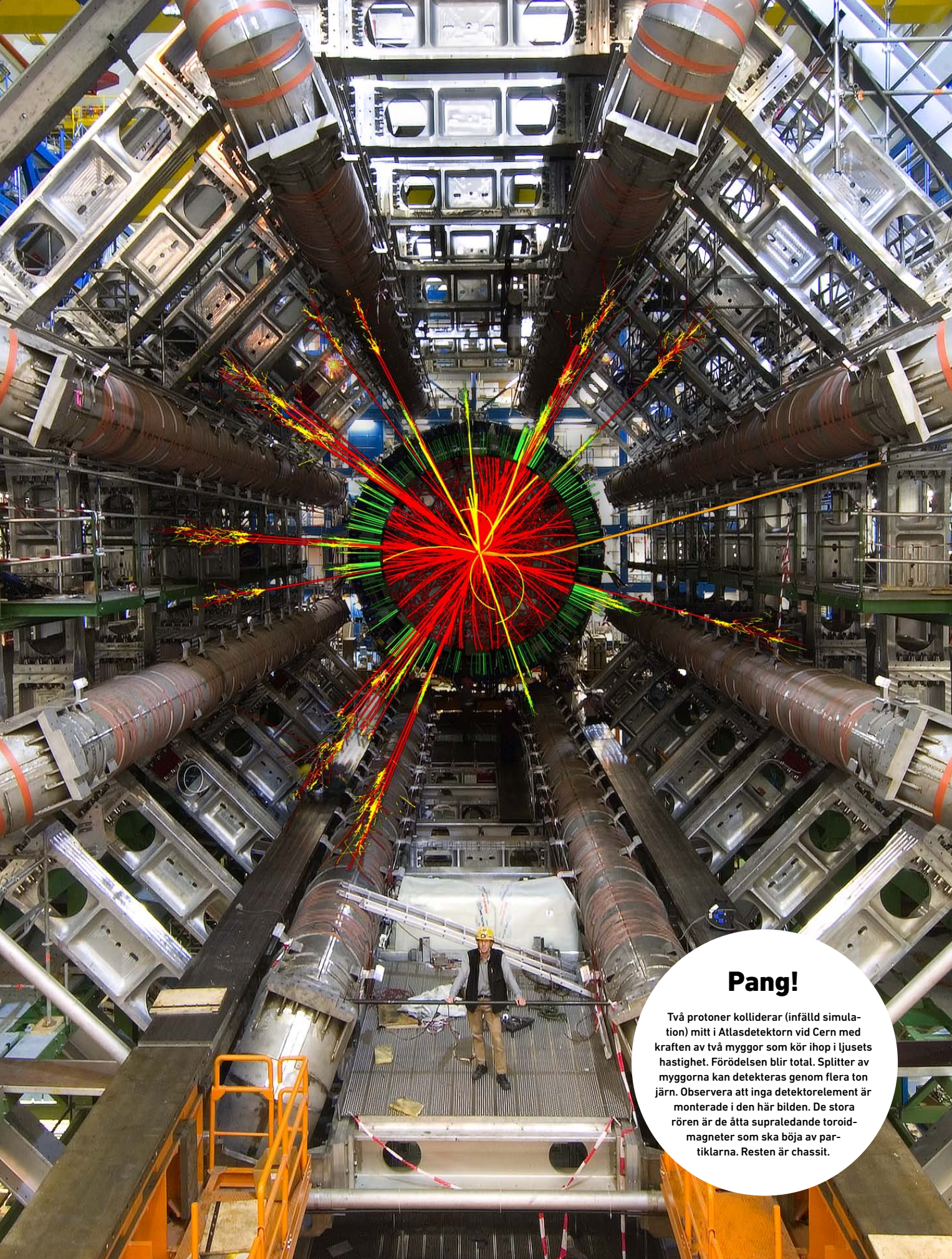
– *Så hittades Higgspartikeln*

När man bygger en fysikalisk teori måste man ha en grund att stå på. En teori om allt, som passar alla. Det var så partikelfysikerna skapade sitt ”periodiska system”, den så kallade standardmodellen.

När Mendelejev konstruerade det periodiska systemet för grundämnena märkte han att det gick att förutsäga egenskaper för de grundämnen som fattades i systemet, de som ingen ännu hade sett. På samma sätt är det med standardmodellen, det fattas lite här och var – det finns hål att fylla.

Ett av hålen har fyllts i med Higgsbosonen, eller Higgspartikeln som den också kallas. Det gällde bara att påvisa den, och det gjorde man den 4 juli 2012.

Standardmodellen är ingalunda komplett efter det datumet. Det finns åtskilliga luckor att fylla i, med åtskilliga hypotetiska partiklar och symmetrier, men den här artikeln kan beklagligtvis inte gå så djupt som en fullständig förklaring



Pang!

Två protoner kolliderar (infälld simulation) mitt i Atlasdetektorn vid Cern med kraften av två myggor som kör ihop i ljusets hastighet. Förödelsen blir total. Splitter av myggorna kan detekteras genom flera ton järn. Observera att inga detektorelement är monterade i den här bilden. De stora rören är de åtta supraledande toroidmagneter som ska böja av partiklarna. Resten är chassit.

Sara Strandberg, Stockholms universitet.

skulle kräva. Ej heller kan vi gå in på den allmänna teorin bakom kvarkar och andra subatomära partiklar.

Hur Higgspartikeln hittades vet Sara Strandberg, lektor i elementarpartikelfysik vid Stockholms universitet, som jobbar med Atlas-experimentet vid LHC på Cern.

– Experimentet går ut på att man krockar protoner i frontalkollisioner i nästan ljusets hastighet 40 miljoner gånger i sekunden och ser vad som kommer ut ur kollisionerna, berättar hon.

– Protonerna kommer i buntar med miljardtals protoner i varje, de kan snarast liknas vid galaxer. Huvudsakligen far galaxerna tvärs igenom varandra, men ett tjugotal partiklar krockar varje gång och sprider massor av partikelsplitter. Om krocken blir tillräckligt bra, i bemärkelsen att protonerna inte bara slås sönder utan att det ur kollisionsenergin även skapas nya, högenergetiska, partiklar, uppstår en triggersituation. I så fall sparar man alla data kring krocken för vidare behandling, men i de allra flesta fall glömmer man allt.

Utdata från "splitter"-sensorerna i Atlas filtreras i tre steg med allt hårdare kriterier, nivå 1, 2 och 3.

– Nivå 1, eller första-nivåstriggern, är en undersökning av energier som avsatts i Atlas energimätare, kalorimetern, och är energin för låg sparas inget. Nivå 3, eller händelsefiltret, ger trots noggrann silning en utmatningsfrekvens på 400 kollisioner per sekund, där alla data sparas på magnetband. Av dessa innehåller ungefär en utläsning per dag data om en Higgspartikel, säger Sara Strandberg.

Den innersta detektorn, pixeldetektorn, har 80 megapixel, bestående av backspända dioder som lämnar en spänningspuls varje gång de genomflyts av en laddad partikel. Alla dessa 80 megapixel kan inte matas ut hela tiden, utan de sparas i en fifo-kö som är 2,5 mikrosekunder lång. Systemet tar 2,5 mikrosekunder på sig att fatta ett beslut och om det blir tummen upp, matas de 80 miljoner pixlarna ut. Annars kastas de.

– Efter lagring och kalibrering av signalerna – vilket sker i en datafarm som kallas Tier 0 – skickas data ut till alla de 38 deltagande länderna för vidare bearbetning – via datafarmerna Tier 1 och Tier 2 – eftersom det kräver för mycket datakraft för att en enda organisation ska kunna klara det, säger Sara Strandberg.

Åter till standardmodellen. Redan 1964, långt innan man visste vilken massa Higgspartikeln har, nämligen 125 gigaelektronvolt, hade forskarna förutsagt partikelns andra egenskaper i och med standardmodellen. Man förutsade också att standardmodellen skulle kollapsa som idé om inte en partikel som Higgspartikeln existerade. Men innan man hade förstått Higgsmekanismen, alltså förklaringen till att vissa partiklar hade massa medan andra inte hade det, kunde man inte säga vad Higgspartikeln bestod av och hur den skulle sönderfalla, och därmed inte heller veta hur man skulle detektera den.

Higgspartikeln finns inte inuti protonen och bara ligger där och trivs, utan den skapas i kollisionsögonblicket. Ett sätt att få till en Higgspartikel är att krocka en kvark och en antikvark. I dagligt tal brukar man säga att vanliga protoner bara består av vanliga kvarkar, men i själva verket består de av detta och ett helt sammelsurium av kvark-antikvark-par som hela tiden skapas och förintas enligt Heisenbergs osäkerhetsrelation. Med en viss sannolikhet kan därför en kvark från en proton och en antikvark från en annan proton kollidera och skapa en Higgspartikel. Det vanligaste är dock att två gluoner, alltså den starka kärnkraftens budbärarpartikel och den som håller ihop protonen, krockar och skapar en Higgspartikel.

När en kvark och en antikvark möts annihileras de, omvandlas fullständigt till energi, och ur denna energi kan nya partiklar skapas med vissa givna sannolikheter, nämligen antipartiklar, elektroner, Higgspartiklar och så vidare. Higgspartikeln skapas alltså som ett resultat av kollisionen kvark-antikvark med en viss sannolikhet – men det är bara halva sanningen.

Hela världen är uppbyggd av kvantmekaniska fält. Higgsfältet finns överallt i universum. När man tillför energi till fältet genom att krocka två protoner

"Higgsfältet representerar viloenergi som finns överallt i universum"

home.web.cern.ch – Cern:s publika sajt.
tinytw.se/lhccloser – Populärvetenskapliga siffror om LHC.
tinytw.se/higgswiki – Wikipedias artikel om Higgspartikeln – läs om du vill vrida hjärnan ur led.
tinytw.se/450gev – den första i TechWorlds tidigare artikelserie om Cern .

med tillräcklig energi, exciteras fältet, och det uppkommer en krusning i det. Higgspartikeln är en excitation av fältet. Låter det knepigt tycker du?

Higgsfältet är inte ett sådant där blålysande kraftfält som de har i ”Star Trek”. Tänk på ett elektriskt fält, som existerar mellan två elektroder. Det gör ingenting, det bara finns där och representerar energi. För man in en elektron i fältet, samverkar den med fältet, får en bit av fältets energi, omvandlar energin till rörelse och accelereras mot den positiva elektroden. För man in en neutron i samma fält, samverkar den inte alls eftersom den är neutral, och får ingen energi alls av fältet. Neutronen fortsätter rakt fram.

Higgsfältet representerar viloenergi som finns överallt i universum, och en partikel som samverkar med fältet kan få en del av viloenergin och omvandla den till massa – eftersom energi och massa är samma sak. Andra partiklar, till exempel fotoner, samverkar inte med Higgsfältet, och erhåller inte massa, utan rusar iväg i ljusets hastighet.

Elektroner, som får sin massa från fältet, spelar en avgörande roll för att atomer och molekyler ska bildas och hålla ihop. Om Higgsfältet plötsligt försvann, skulle all materia kollapsa när masslösa elektroner gav sig iväg med ljusets hastighet, omöjliga att fångas in i atomer och molekyler. Inget vi känner till skulle finnas, än mindre vi själva.

En Higgspartikel kan sönderfalla till olika andra partiklar, med störst förkärlek (56 procent av gångerna) till två bottenkvarkar, men i sällsynta fall även till två fotoner, två gluoner (8,5 procents chans), två tau eller två Z-bosoner (3 procent) som i sin tur blir till exempelvis fyra myoner. Alla dessa kan Atlas mäta noggrant.

Det näst vanligaste sönderfallet (23 procent) är dock två W-bosoner, som i sin tur vardera sönderfaller till exempelvis en elektron och en neutrino. Sluttillståndet innehåller två neutriner, som är svåra att mäta tillsammans, och då kan man inte längre rekonstruera massan för Higgspartikeln, utan bara hamna i storleksordningen 120 gigaelektronvolt.

> ”Partikeln fungerar som ett mellanled, ett bevis på att standardmodellen är rätt väg”

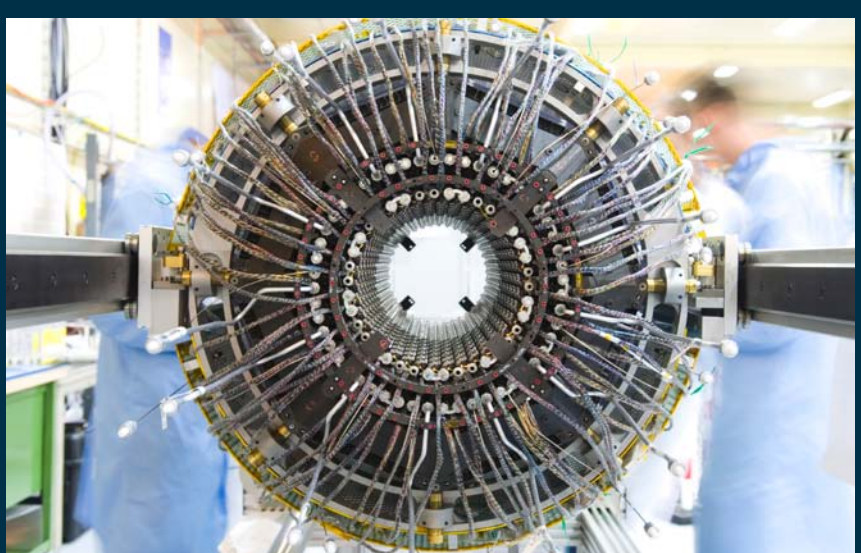
Utöver det här sprutar det omkring massor av andra partiklar i detektorn hela tiden från andra, samtidiga kollisioner, som skapar ett bakgrundskvark-brus som gör det svårt att detektera just Higgspartikeln. Det här breda spektrumet av utfall och den låga upplösningen i fallet med neutrinerna har gjort utvärderingen svår. Men det gick.

Vad har naturen för nytta av Higgspartiklarna? Ingen alls. De förekommer inte i fritt tillstånd. Det naturen har nytta av är Higgsfältet, som ger saker och ting, alltså partiklar, sin massa. Olika partiklar är olika tunga beroende på hur starkt de samverkar med Higgsfältet, på ungefär samma sätt som en logdörr samverkar mera med luften än en pil skjuten från en pilbåge. Men dra inte den analogin för långt – Higgsfältet emotsätter sig inte rörelse, det utgör inte ”sirap” som får partiklar att sakta in. Att både pilen och logdörren faller till marken efter ett tag, ska skyllas på gravitationen. Den vet vi ännu inte hur den fungerar, men den utgör ännu ett intressant, icke ännu ifyllt hål i standardmodellen.

Vad kan forskarna göra med Higgspartiklarna? Inget alls, utom att hösta in ett antal Nobelpriser. Partikeln fungerar bara som ett mellanled, ett bevis på att standardmodellen är rätt väg mot den stora samlade teorin om allting, the Grand Unified Theory of Everything.

Vad kommer att hända när man nu snart vevar upp Cerns stora partikelacceleratoranläggning LHC till 2 gånger 6,5 teraelektronvolt? Kanske får partikelfysikern Anna Davour som hon önskade i min tidigare artikel om mörk materia (se TechWorld 6/2014 eller tinytw.se/morkmateria). Med lite tur, menar Sara Strandberg, kanske man kan skapa wimp-partiklar i LHC. Kanske finns de redan i befintligt mätdata. Wimp:ar är ett annat av hålen i standardmodellen som kan behöva fyllas i. I så fall får man slutligen reda på hur den mörka materien skapas och kan sätta in bättre metoder att hitta den i universum.

På nästa sida: Mer detaljerat om hur partikeln upptäcktes!



Pixeldetektorn är en hoprullad digitalkamera med 80 megapixel upplösning, där bildsensorn vänder inåt. Protonstrålarna möts i hålet i mitten och partiklarna sprutar ut genom detektorkorten, de små staplade kretskorten runt detektorns väggar. Alla ledarna bär ut bildinformationen. Bild: Cern

En fruktansvärd smäll

BILD 1 visar en krock i detalj. Higgspartikeln finns inte alls inuti protonerna som kolliderar, utan bildas i själva kollisionsögonblicket. En fri Higgspartikel lever bara i 0,0000-000000000000000001 sekunder och hinner under den tiden endast färdas 0,00000000000003 meter. Den kan då falla sönder i två Z-bosoner, som lever i 0,0000000000000000000000001 sekunder. Vardera.

Fattar du vilken fruktansvärd smäll det blir? På någon attosekund förstörs naturens innersta beståndsdelar i en våldsam krasch och blir till splitter som kan tränga igenom berg.

Men naturen själv är mycket värre. Kosmisk strålning håller mycket högre energier än så, och kan gå tvärs igenom hela jorden.

BILD 2 Atlasdetektorn är uppbyggd som en tunna, och inuti den ligger olika detektorer i lager, virade runt strålröret i mitten där protonerna krockar. Bild 2 visar en tårtbit av detektorn.

Innerst sitter spårdetektorn som allra innerst har en pixeldetektor på 80 megapixel i flera lager, några centimeter från kollisionspunkten.

Anledningen till den höga upplösningen är att man vill kunna återge sönderfallspartiklarnas spår i tre dimensioner, för att kunna ta reda på exakt varifrån, alltså från vilken kollision de kom, eller om de kom från ett sekundärt sönderfall en bit från kollisionen, eller möjligen från kosmos i form av kosmisk strålning. Higgspartikeln har för kort livslängd för att detekteras på detta sätt. Man får inrikta sig på dess sönderfallsprodukter.

Ju längre ut man kommer från strålröret, desto lägre upplösning har detektorelementen, men desto tyngre partiklar kan de absorbera och mäta energin hos. Genom att använda olika, allt tyngre ämnen som bly eller stål varvat med detektormaterial kan man ta reda på vilka typer av partiklar som absorberats.

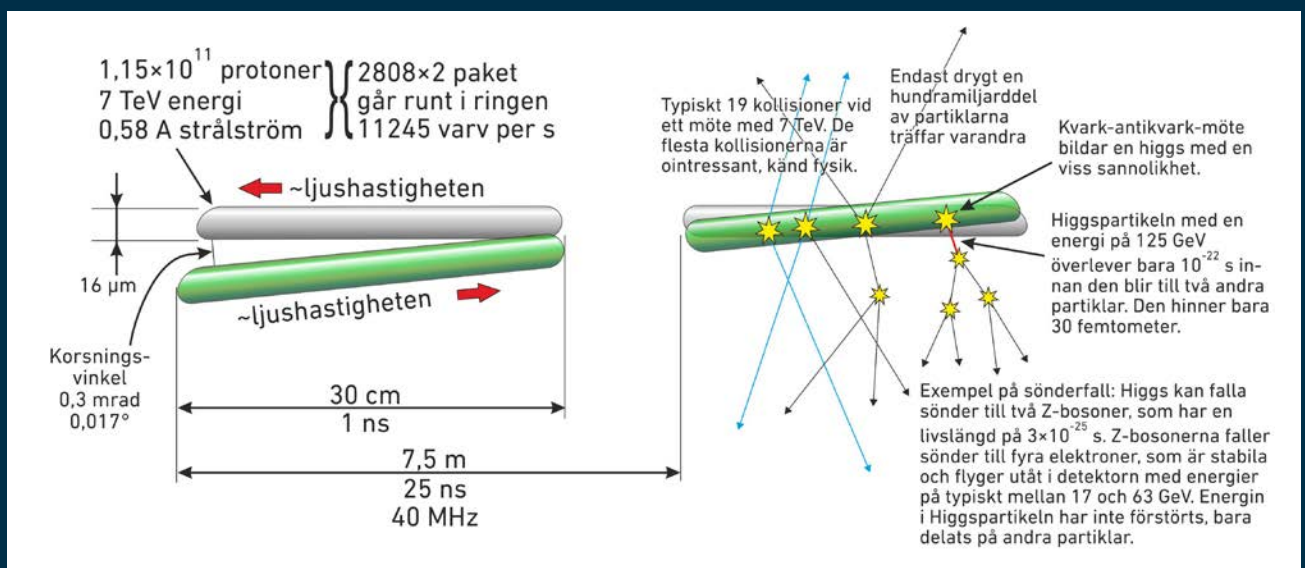
Exakt vilken typ av partikel det handlar om, avgörs av vilka detektorer som aktiveras. En foton (exempelvis röntgen) kommer att deponera all sin energi i den elektromagnetiska kalorimetern, men den lämnar inget spår i den inre detektorn, eftersom en foton är elektriskt neutral.

En elektron kommer också att deponera all sin energi i den elektromagnetiska kalorimetern, men den lämnar dessutom ett spår i den inre detektorn.

> ”De allra lurigaste partiklarna som vi känner till i dag är myonerna”

Andra, tyngre partiklar, som protoner och neutroner, kommer att fortsätta ända ut till den hadroniska kalorimetern dumpa sin energi där. De allra lurigaste partiklarna som vi känner till i dag är myonerna, som reagerar väldigt lite med kalorimetrarna. De stoppas ändå till sist i myonspektrometern längst ut. Myonsystemet skapades enkomt för att hitta Higgspartikeln, som exempelvis kan falla sönder i fyra myoner, om inget annat

Bild 1



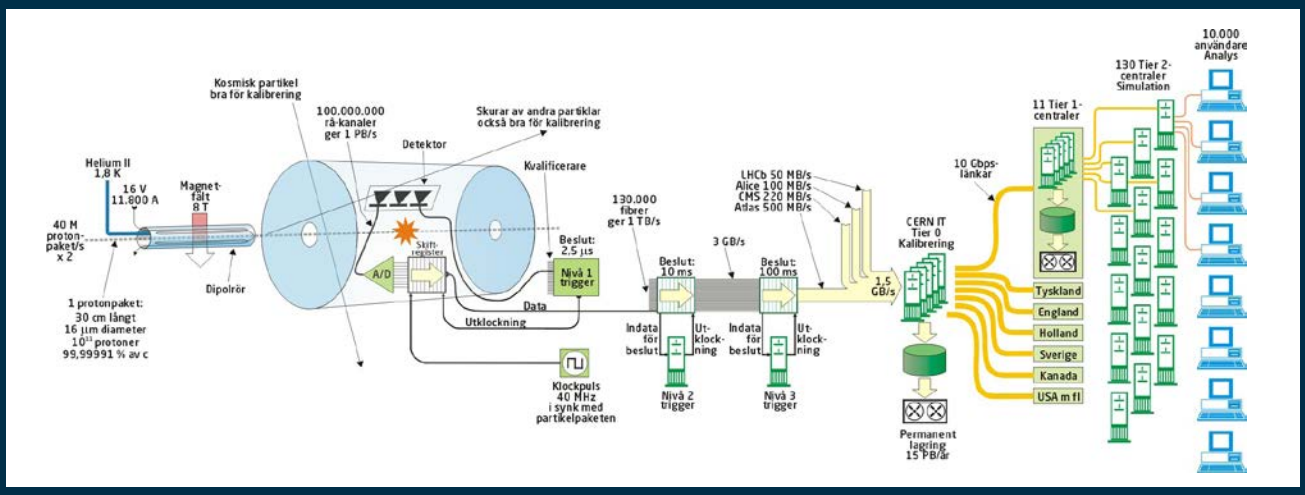


Bild 3

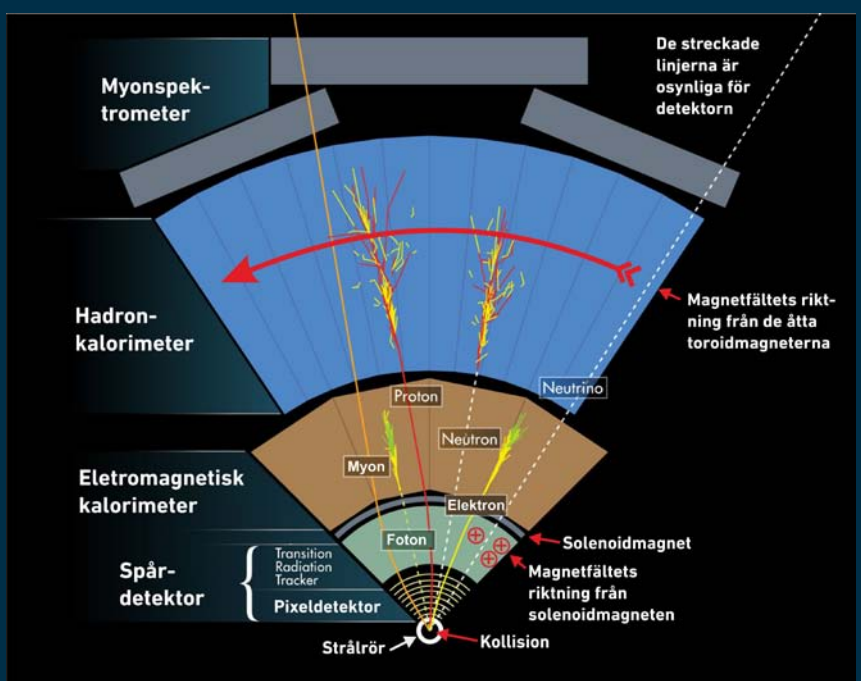


Bild 2

system skulle duga för att hitta partikeln.

Man vill kunna räkna samman energin från kollisionens alla partiklar, så att man vet att man hittat alla fragment. Dock finns det partiklar som inte kan mätas direkt, som neutriner. Eftersom rörelse-energin i kollisionen måste vara bevarad, enligt fysikens lagar, kan man ändå med helt vanlig subtraktion sluta sig till att en neutrino måste ha bildats och åt vilket håll den farit.

För att kunna bestämma energierna innehåller detektorn olika magnetsystem, som böjer av partiklarnas banor, så man kan se hur höga energier de har.

Lågenergetiska partiklar böjs av kraftigare än högenergetiska och antipartiklar böjs av åt motsatt håll mot materia.

Innerst sitter en solenoid med hela 2 tesla magnetfält längs partikelstrålen, som böjer av partiklarna i en bana runt strålröret. Magnetfältet åstadkoms med en likström på 7 600 ampere. Om partiklarna är tillräckligt högenergetiska för att slinka ur solenoidfältet träffar de på toroidfältet på 3,9 tesla som böjer av dem i fram-backriktningen. Fältet åstadkoms av 8 toroidspolar med en drivström på 20 500 ampere!

”Hur vet man att de två intressanta partiklarna kom just från kollisionspunkten?”

BILD 3 visar hur krocken ser ut i ”verkligheten”, med ett exempel längst ned på 21 kollisioner i ungefär naturlig storlek. De olikfärgade linjerna är sönderfallspartiklar av olika typ och energi. De flesta partiklarna representerar ointressant, känd fysik. De två kraftiga gula linjerna är myoner som skapats ur en Higgspartikel. Partikeln själv eller dess färdväg syns inte i den här skalan, bara resultatet av dess sönderfall.

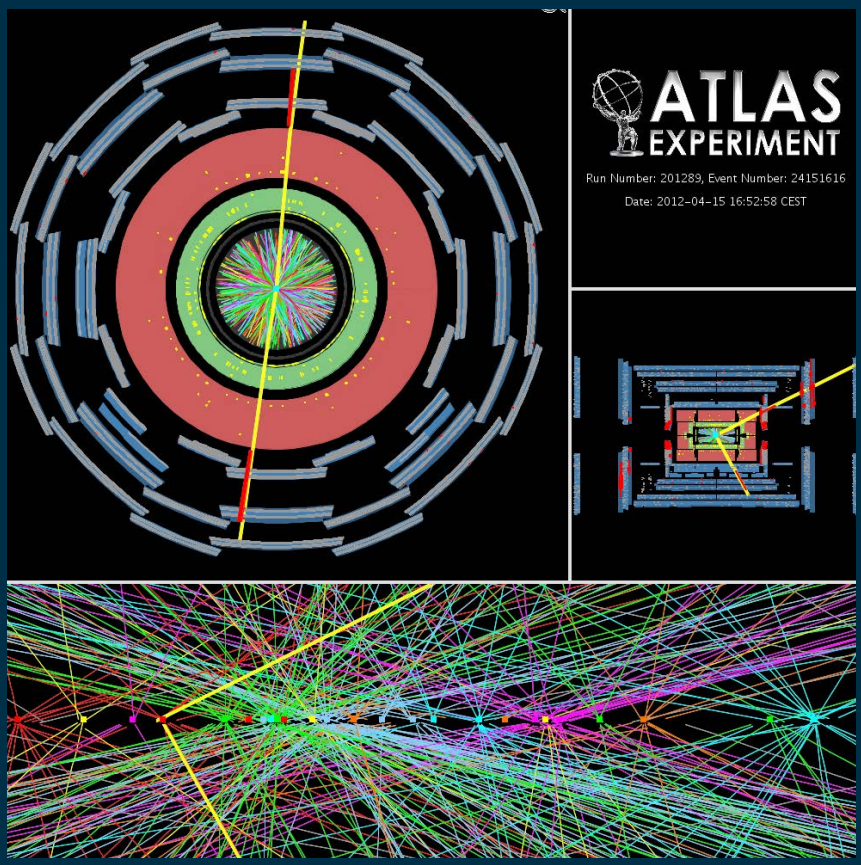
Hur vet man att de två intressanta partiklarna kom just från kollisionspunkten? De grova röda linjerna i myondetektorerna (grå plattor ytterst) representerar triggvillkoren. Efter att Atlas-detektorn

Jörgen Städje

Frilansskribent och teknisk översättare som arbetat för IDG sedan 1989. Han har tidigare arbetat som elektronikkonstruktör, emc/emi-expert, servicetekniker på ocr-utrustning, teknisk dokumentatör och fotograf.

JORGEN.STADJE@TECHWORLD.SE

Bild 4



”Det totala flödet in i alla skiftregister är ungefär en petabyte per sekund.”

lämnat en triggsignal betraktar man alla data från hela detektorn för tillhörande kollision, och simulerar alla partiklars väg tillbaka till centrum.

De gula linjerna råkade mötas i kollisionspunkt nummer fyra från vänster, tillsammans med lite annat lågenergetiskt skräp (rött) som far iväg åt andra håll. De två gula och de 11 röda linjerna ska tillsammans representera lika mycket energi som de två ingående, förstörda protonerna, nämligen 7 teraelektronvolt.

De två gula linjerna representerar tillsammans en energi på 125 gigaelektronvolt, vilket man antagit är Higgspartikelns energi. När man fått tillräckligt många sådana händelser som kan härledas till en partikel på 125 gigaelektronvolt som fallit sönder, har man hittat det man söker. Förmodligen. Det är bara statistik, men med tillräckligt många händelser blir statistiken till bevis.

BILD 4 De störningar som uppkommer när en partikel slår igenom en av cirka 100 miljoner stycken detektorer (bild 4), A/D-omvandlas och skickas in i ett skiftregister som sitter monterat inuti detektorapparaten, där data klockas framåt synkront med partikelpaketen.

Det totala flödet in i alla skiftregister är ungefär en petabyte per sekund. Det är mera data än hela Europas sammanlagda teletrafik.

Bilden visar efterbehandlingen av data i fyra nivåer, alltså Tier 0–3. Tier 5 är forskarnas hjärnor – som med all annan forskning kommer de slutliga svaren ur den ultimata datorn hjärnan, när forskare fått träffas och stöta och blöta idéer med

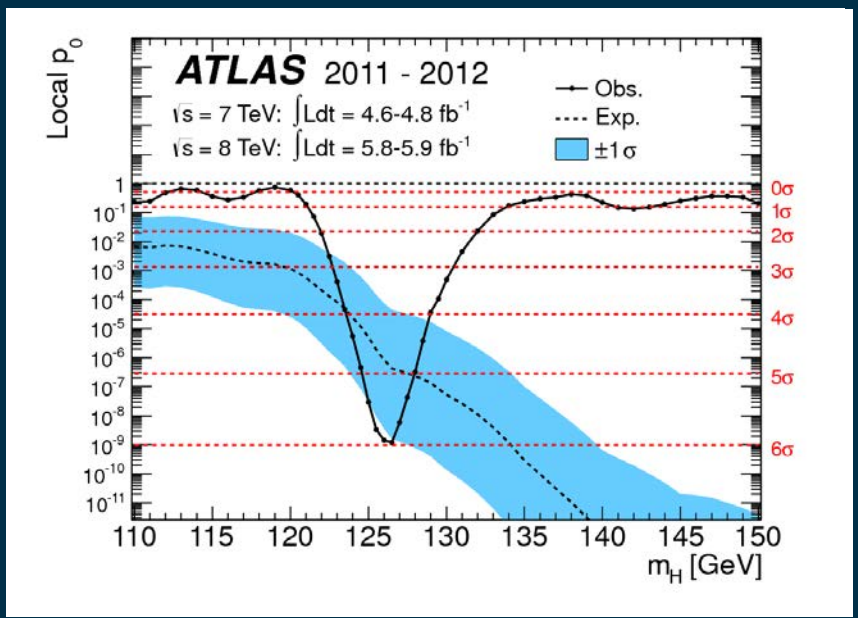


Bild 5

varandra. Läs mer om det i artikeln "Andra gången gillt för LHC" (tinytw.se/andralhc)

BILD 5 Kurvan på bild 5 visar statistik från mätningar av en av många sönderfallstyper, nämligen från Higgspartikel till två fotoner (H ⟶ γγ). X-axeln visar den sammanlagda energin (massan mγγ i gigaelektronvolt) av två samtidigt detekterade fotoner.

Får man tillräckligt många händelser där man registrerar två fotoner som tillsammans utgör 125 gigaelektronvolt har de skapats ur en och samma typ av händelse: en tidigare okänd, sönderfallen partikel.

Den översta y-axeln anger antalet händelser i denna mätning, cirka 5 000 i det intressanta området. Tar man bort bakgrundsbruset får man den nedre kurvan, där man ser att händelsen vid 125 gigaelektronvolt är 400 gånger vanligare än bakgrunden.

BILD 6 När man lägger ihop sannolikhetskurvorna för alla typer av sönderfall – fotoner, Z-bosoner, W-bosoner, fyra myoner och så vidare – pekar alla på 125 gigaelektronvolt med en säkerhet på 6 sigma eller en miljard gånger högre sannolikhet än slumpen. Där har vi vår delinkvent! ■

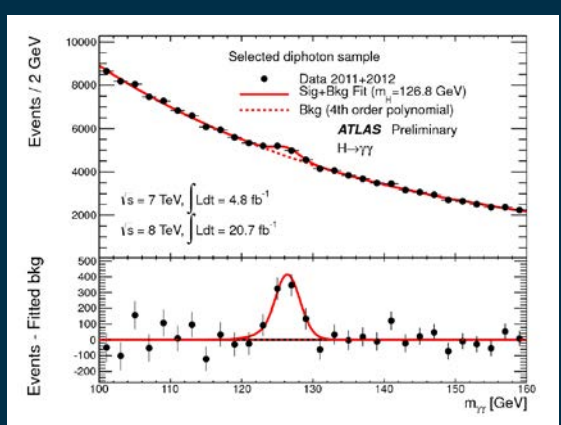


Bild 6

SVENSK INSAMLINGS KONTROLL 90 KONTO

Säg Nej till cancer!

Bli månadsgivare

Gå in på cancerfonden.se/nej och anmäl dig redan i dag!

Cancerfonden

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

Efter två års driftsavbrott för att fila på kolvtopparna och hetsa upp supraledarna är LHC nu igång igen, med den kollisionsenergi den egentligen var tänkt för: 14 teraelektronvolt.

Det är nu de stora grejorna kommer att hända. Förhoppningsvis kommer man att kunna slå ut en wimp, en partikel mörk materia, och därmed slå fast varför galaxerna inte flyger i sär, i stort sett varför universum faktiskt håller ihop. Läs gärna min artikel ”Mörk materia syns inte men finns där ändå” (tinytw.se/mork) för att få den fullständiga, fysikaliska bakgrunden.

LHC har just i maj 2015 skruvat upp datakranen och börjat spruta data ut till Europas alla universitet och högskolor som vill vara med och räkna på de nya partiklarna. Uppgraderingen och de nya önskningarna summeras väldigt elegant i BBC:s filmade reportage ”Large Hadron Collider: ’New era in physics’ expected” (http://tinytw.se/bbclhc).

Äsch. Det blev inget svart hål som slukade hela jorden den här gången heller!

På tröskeln till fusion, men den drar mycket el

För alltid slut på behovet av kol, olja och kärnkraft! Ren, förnyelsebar energi som nästan inte kostar något! Häll in vatten i ena änden och få ut oändligt mycket el i andra änden! Det är människans största dröm. Av Jörgen Städje

Det går bra att sluta drömma, för vi är nästan framme. Vi kliver in genom dörren till det brittiska kärnforskningsinstitutet Joint European Torus (JET) i Culham utanför Oxford. Här produceras fusionsenergi i detta nu, enligt Einsteins berömda formel $E=mc^2$. Om massan m är en vattendroppe och c ljushastigheten kan man bara kort konstatera att det blir massor av energi över. 30 gånger om dagen, i pulser om 20 sekunder, uppnår man sjuttioprocentig verkningsgrad och förser forskarna med cirka två gigabyte mätdata som de kan ägna lång tid att studera.

Reaktorn är av typen Tokamak, en magnetisk flaska, ursprungligen en rysk idé som i grunden är ganska enkel och fungerar pålitligt.

Reaktorhall som en konsertsal

Anläggningen är en jättestor fabrik med en reaktorhall som en konsertsal. De radiosändare som används för värmningen av plasmat, den heta gasen där reaktionen förlöper, och de deuteriumkanoner som skjuter in mera bränsle, har nätaggregat som är som hela hus. Ja, här finns allt möjligt gottigt man kan önska sig: enorma radiosändare, klystroner, högspänning, en djungel av koaxialrör som Tarzan skulle trivas i och ett kontrollrum med flera hundra arbetsplatser.

Säkerheten har drivits mycket långt. För att logga in behöver man utöver lösenord och användar-ID, även en dongle från RSA som genererar ett nytt lösenord i minuten, och ett PIN. Det vore ödesdigert om någon klant skulle komma åt att ställa om parametrarna i reaktorn. Säkerheten kring bränslet; tritiumet och deuteriet, är också omfattande, kanske inte så mycket för strålningens skull som för att det är synnerligen dyrbart. De ynka tjugo gram tritium som finns i anläggningen vårdar man ömt. Det lagras i superkyla på utarmat uran i ett stort hus man kallar gasåtervinningsanläggningen.

SVETTIGT:

300 000 000

grader varmt, då smälter väte ihop till helium och frigör all energi vi behöver.

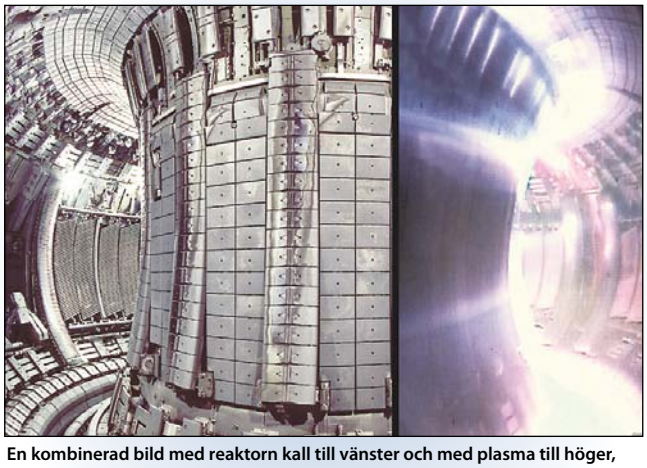
Anläggningen förbrukar oerhörda mängder elektrisk effekt till varje puls. Inte mindre än 1 400 megawatt går åt. Eftersom elnätet inte klarar att ge ifrån sig en puls på 1 400 megawatt under tjugo sekunder har man stora elektriska motorgeneratorer med enorma svänghjul som man varvar upp och sedan använder man svänghjulsenergin för att framkalla den enorma pulsen.

Det är fusionskraften som får solen att lysa, men där behövs ”bara” en temperatur på cirka 15 miljoner grader eftersom där finns gott om väte, som hålls på plats av solens oerhörda gravitation. I fusionsreaktorn måste man hålla plasmat på plats med hjälp av kraftiga magnetfält (3,2 tesla), och det är magneterna som drar så mycket ström. Därför behövs också mycket högre temperaturer, sisådär 300 miljoner grader för att man ska få igång reaktionen med den lilla mängd deuterium man faktiskt lyckas hålla fast, bara 0,1 gram.

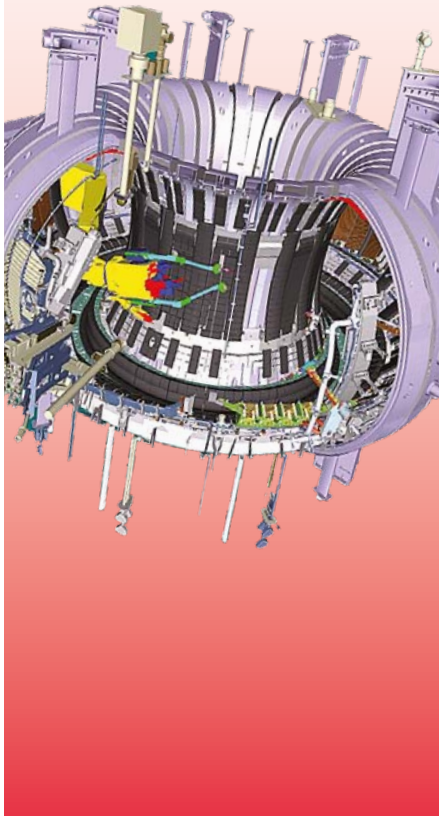
Kärnforskningsinstitutet i Culham startades redan 1983 och är inte supraledande. Det är därför magnetfältet förbrukar så mycket energi. Framtida reaktorer kommer att vara supraledande och inte förbruka någon större energi.

Datorerna som styr reaktorn

Men, eftersom det här trots allt är en datortidning, tvingas vi börja med datorerna. Control and



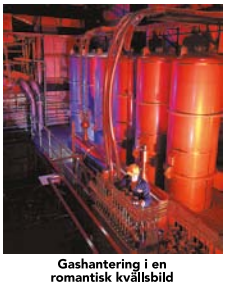
En kombinerad bild med reaktorn kall till vänster och med plasma till höger, 300 miljoner grader varmt. Plasmat lyser inte! Det är föroreningarna nertill, som är på väg ut genom divertern, som lyser. De lutande räfflorna i bakgrunden är antenner.



3 utrustningsnivåer och två gränssnitt i JET som CODAS standardiserat

- **Nivå 3** kallas för lokalenhetsnivån och där finns alla styrskåp som direkt styr eller hämtar data från reaktorn.
- **Nivå 2** är undernivån där klustren befinner sig. De sammanställer allt mätdata och skickar det vidare till...
- **Nivå 1**, övervakningsnivån där data tas om hand och människan sitter och styr allting i kontrollrummet. Med kännedom om detta kan forskarna skriva egen programvara och bygga egna sensorer, och så länge de bara håller sig till gränssnitten och standarderna kan de vara säkra på att deras data samlas in på ett säkert sätt.

Så här bygger du din fusionsreaktor



Gashantering i en romantisk kvällsbild

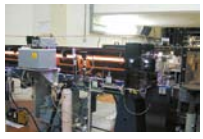
Gasåtervinningsanläggningen innehåller mera rör än du kan drömma om. Och några till!

Gashantering: tritium, deuterium

Den har ett eget hus, gasen är radioaktiv och dyr. Bryggan är gasledningarna till reaktorn.

Diagnoser

Röntgenspektometern är en massiv klump av järn med nobelprisvinnande detektor. Svensk forskare till vänster.



En koldioxidlaser som lyser på plasmat för mätändamål och mäter densiteter och flöden.

Uppvärmning, kortvåg

En av de 16 radiosändarna på 25-55 MHz

30 Ohm 20 kW vätskekylt motstånd i radiosändaren

Uppvärmning, mikrovåg

10 MW klystronförstärkare för 3,7 GHz

Ett 130 kV switchaggregat gör högspänning till NIB

NIBben är den stora vita apparaten närmast i bild

NIB - Neutral Injection Box

Överspännings- och kortslutningskydd för 130 kV

Bild: Jörgen Städje
Visa bilder med tillstånd av UKAEA

Datainsamlingen börjar som sig bör i A/D-omvandlarhallen

Ett cluster. Du ser väl Sparc-burkarna?

Masslagringssystemet, RAID-diskar på 6,2 TB

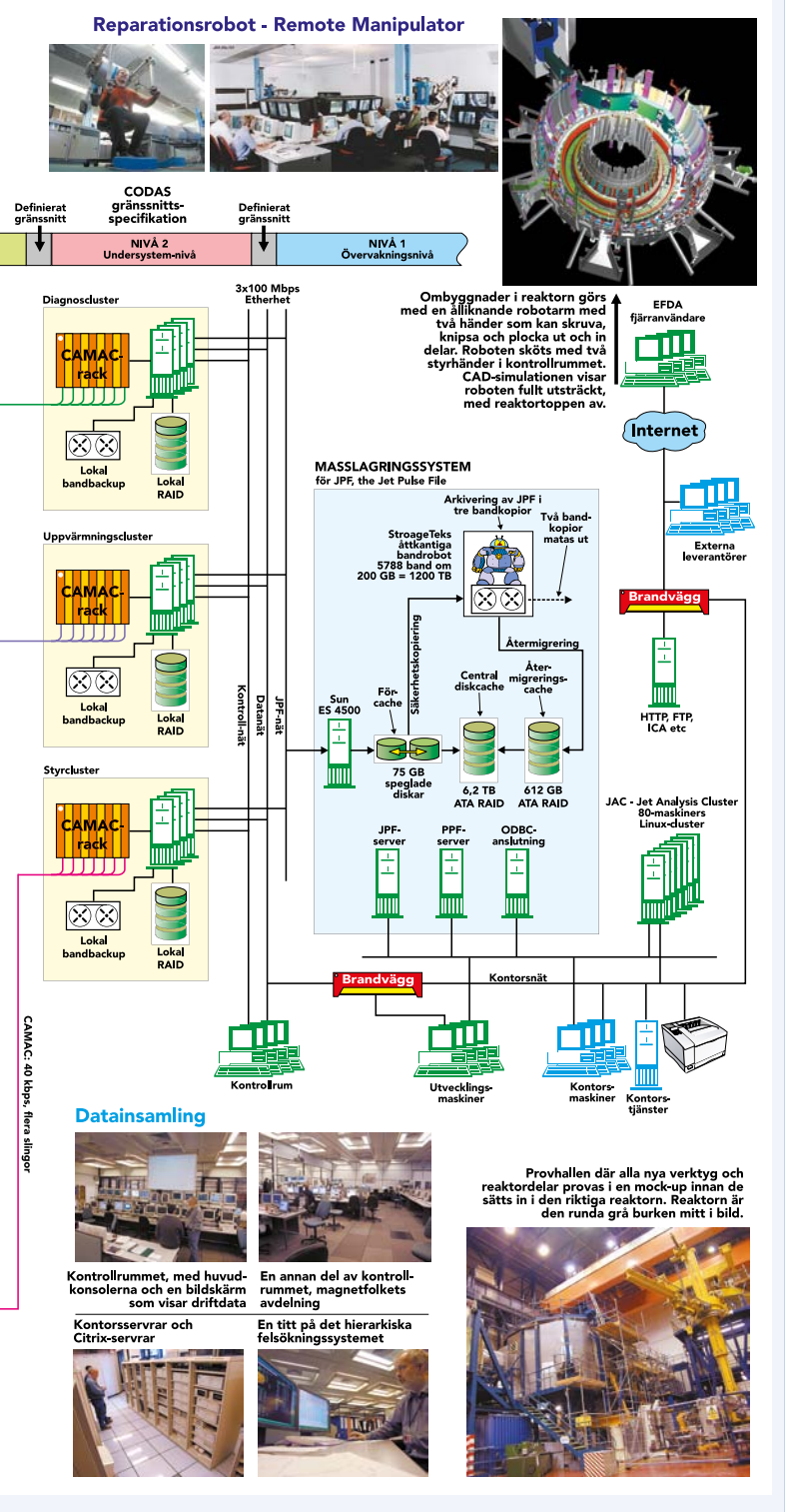
StorageTeks bandrobot Nearline, 1200 TB

Snyggt byggt analyskluster med 80 Linux-maskiner

JET-genomskärning.eps: Joint European Torus i Culham utanför Oxford i England, en experimentreaktor som ska leda oss fram till fusionskraften. Många saker har fått utelämnas för att få skissen klarare, som till exempel reparationsroboten Remote Manipulator. Vidare visas bara ett litet fåtal av alla de diagnoser som finns runt reaktorn. Egentligen ser den ut som en igelkott med alla instrument runt omkring.

Data Acquisition System, CODAS, kallas datorsystemet som styr reaktorn och samlar in alla data.

De utan tvivel viktigaste enheterna i CODAS är ”klustren”, de moduluppbyggda, distribuerade rackskåpen med styrdatorer som påverkar reaktorn direkt. Det finns tre kluster med en mängd Sparc-servrar med Solaris som styr olika funktioner och rapporterar felsignaler: Styrklustret som hanterar drivare för magnetfält, vakuum, gaser, ventiler med mera, Värmningsklustret som hanterar sändarna för högfrekvensvärmning, mikrovågsvärmning och injektionsboxarna (NIB); de 16 deuteriumkanonerna som skjuter in bränsle och energi i reaktorn, och slutligen diagnosklustret som samlar in alla mätdata från alla sensorer i och kring reaktorn. All tung styrning och alla gränssnitt mot tokamaken



Kontrollrummet, med huvud-konsolerna och en bildskärm som visar driftdata

En annan del av kontroll-rummet, magnetfolkets avdelning

Kontorsservrar och Citrix-servrar

En titt på det hierarkiska felsökningssystemet

Provhallen där alla nya verktyg och reaktordelar provas i en mock-up innan de sätts in i den riktiga reaktorn. Reaktorn är den runda grå burken mitt i bild.

Datainsamling

har Solaris, av driftssäkerhetsskäl. Alla servrar sitter anslutna till tre Ethernet med hastigheten 100 megabit per sekund: ett kontrollnät för hanteringen av servern, ett datanät för uppladdning av data till servern, och JPF-nätet (Jet Pulse File) över vilket man snabbt trycker alla driftdata som uppmäts under en puls, till det centrala masslagringssystemet, en 6,2 terabyte RAID-enhet. Det blir cirka två gigabyte under en puls och med 30 pulser per dag slutar man på 60 gigabyte mätdata per dygn. Maskinvaran i klustren är standard, mest Sparcstationer, för att lätt kunna ersättas. Varje kluster har en fileserver med en lokal cache i RAID.

Insamling av mätdata

Datainsamlingen är till stora delar analog och anläggningen har cirka 80 000 sensorer, varav 40 000 känns av direkt under en puls. 90 procent av alla data i anläggningen förs fram över Ethernet, medan 90 procent av alla styrsignaler och mätdata forslas över CAMAC-slingor (Computer Automated Measurement And Control), en kommunikationsform från 1969 som används för datafångst på i stort sett alla kärnforskningsanläggningar i världen. CAMAC klarar bara 40 kilobit per sekund och har blivit anläggningens flaskhals.

Den direkta manövreringen sköts av industridatorskåp ute i anläggningen, som på vilken industri som helst, via CAMAC-slingorna. Idag skulle vi ha valt Ethernet, men inte 1983, när anläggningen byggdes. Solaris anropar CAMAC-gränssnitten i klusterskåpen direkt. I manöverskåpen finns det CAMAC, Eurocard, VME-kort, PCI-kort, ja allt man kan tänka sig. Det här kräver att man utnyttjar ett visst mått av standardisering.

Massor att analysera

Analysen av mätdata kräver mycket datorkraft. Därför har man ett 80-maskiners Linux-kluster som drar det tunga lasset. Det uppgraderas hela tiden och blir bara snabbare. Linux kommer för övrigt att byggas in mer och mer i anläggningen. Det ska in i alla routrar och terminalservrar.

Men mycket av analysen sker på andra platser. Fjärrdeltagande betyder att forskare inom hela EFDA kan vara med vid pulserna och ta del av mätdata efteråt. Man kan sitta var som helst i Europa och se vad som händer i kontrollrummet. De loggar antingen in genom ett Citrix-gränssnitt eller kommer in via webben. Det är inloggning med RSA-dosa som gäller.

Primärlindning runt mittbenet

Tokamaken är uppbyggd som en transformator, med primärlindningen (inre poloidala lindningen) runt mittbenet och plasmat i vakuum-torusen (reaktorkärlet) som fungerar som sekundärlindning på ett varv. När det är dags för tjugosekundersskjutning kör man igång radiosändarna och NIB-arna och räknar ned à la NASA tills man släpper på strömmen till alla spolar. Reaktionen tänds direkt när magnetfälten slås på, eftersom det alltid finns exciterade atomer som cirkulerar runt torusen. Direkt får man en ström på fyra megaampere med ett spänningsfall på 0,5 volt varvet runt. Detta ger en lavineffekt som tänder hela plasmat. Plasmat måste sedan formas med de toroidala och de yttre poloidala lindningarna. De drar över 400 megawatt. Resultatet blir ett spiralvridet magnetfält som går runt i en ring och stänger plasmat inne.

Temperaturen måste upp

Det räcker inte för att få upp temperaturen, så plasmat måste värmas. Dryga 20 megawatt värme tillförs genom högfrekvensvärmning i bandet 25–55 megahertz och ytterligare 10 megawatt i bandet 3,7 gigahertz. Frekvensen kan varieras för att excitera olika atomer, väte, deuterium och föroreningar.

Men det räcker ändå inte. Mera energi tillförs genom att man skjuter in nytt bränsle till reaktionen, huvudsakligen deuterium, i 16 strålar (en visas i skissen) i NIB-ar. Ytterligare 20 megawatt tillförs på det sättet. NIB-en börjar med att jonisera deuteriumgas med hela 1 500 ampere i en kammare stor som en resväska! Jonerna sugs ut genom ett hål och accelereras med 130 kilovolt med en strålström på hela 60 ampere. Strålen är 20x40 cm och skulle med lätthet gå tvärs genom magen på dig. Rena rymdvapnet. En joniserad stråle skulle aldrig gå igenom magnetfälten i reaktorn, så den neutraliseras i en kammare med neutral deuteriumgas. Den del av strålen man inte lyckats neutralisera, böjs av med stora magneter och får träffa ett vattenkylt strålmål. Det blir ett par megawatt i strålmålet så magneter och vattenkylning måste fungera, annars blir det mycket snabbt ett mycket stort hål i apparaten.

Divertor suger upp avfallet

Reaktionen producerar restprodukter, huvudsakligen helium, väte, tritium och olika föroreningar

som skjutits bort från kärlets väggar, som kol och syre. Dessa måste avlägsnas. Det har man löst med en så kallad divertor, en avledare i botten av kärlet med egna elektromagneter, divertorlindningarna, som drar dit en liten del av plasmat. Eftersom föroreningarna drar sig mot plasmats kant, kan de elegant ledas ned i avledaren och pumpas ut med hjälp av en vakuumpump.

Att diagnostisera plasmat

Hur ska man undersöka plasmat, reglera och styra det? Det är 300 miljoner grader varmt så man sätter inte in en termometer direkt. Fick man för sig att göra det skulle den omedelbart förångas och snabbt kyla ned plasmat.

JET-folket kallar datainsamlingen för diagnos. Det finns ett hundratal olika mätinstrument som samlar in mätvärden under varje puls. Man försöker helt enkelt hitta de bästa mätmetoderna och provar så många som möjligt. Här kan vi bara beskriva de två viktigaste.

Lidarn (laserradar) skickar in en laserstråle med mycket smal spektral bredd genom plasmat. Den reflekteras, sprids och dopplerskiftas på olika sätt när den reflekteras mot de fria elektronerna i plasmat. Reflektionen tas om hand och analyseras och det visar sig att ju flera fria elektroner det finns, högre densitet, desto mera ljus kommer det tillbaka. Ju varmare de är, det vill säga ju mera de rör sig, desto bredare (brusigare) blir det spektralband som kommer tillbaka. Så kan man mäta de värden man vill utan att vidröra plasmat.

Den andra huvudmetoden som man använder på JET är laddningsutbytesspektroskopi. Den går ut på att man tittar på NIB-strålarna. Neutralt deuterium är ju en deuteriumkärna och en elektron. När deuteriet kommer in i plasmat slits elektronen loss och fastnar på en plasmajon, eller en förorenings-jon, elektronen (laddningen) byter plats. Under den korta stund elektronen sitter där, lyser atomen och med kännedom om var någonstans ljuset uppstod, dess färg och hur kraftigt det dopplerförskjuts kan man avgöra vilka ämnen strålen gått igenom, hur mycket av ämnena som finns och deras temperatur.

Målet med verksamheten

Pionjåråren är över. Vid JET förstår man numera hur man ska hålla kvar och forma ett supervarmt plasma och vidmakthålla en reaktion. Man har också utarbetat metoder för att värma plasmat, förse det med nytt bränsle och avlägsna restprodukter från fusionen.

Man utarbetar också metoder för att analysera plasmat, mäta temperaturer, strålning, densitet och hur det nöter ned reaktorns inneväggar, samt att försöka förstå hur det rör sig. Eftersom reaktorn är för radioaktiv för att människor ska kunna vistas i den, har man utvecklat en slingrande robotarm som personalen kan använda för de flesta utbytes- och reparationsarbeten inuti reaktorn.

Allt detta ska leda fram till färdiga metoder för att hålla en förproduktionsreaktor igång, nämligen den sameuropeiska ITER som ska tändas år 2006. En riktig reaktor för elproduktion räknar man med ska finnas framme 2016. THE END

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör, nätverksspecialist, teknikhistoriker och datorgrafiker. Du når honom enklast på **jorgen@qedata.se**.

SÅ GÅR DU VIDARE

- JET har en egen webbplats, den finns på www.jet.efda.org.
- Läs om CAMAC på www.lecroy.com/lrs/appnotes/introcam/introcam.htm.
- Grunderna i fusion finns på www.jet.efda.org/pages/content/fusion1.html.
- Några av diagnoserna beskrivs i detalj på www.jet.efda.org/pages/focus/002diag/index.html. Läs den för det hjälper dig att förstå den här artikeln.

Sms:a **AKUT NEPAL** till **72 900** och skänk 100 kr.

Genom att sms:a godkänner du att Röda Korset får kontakta dig. Självklart följer vi personuppgiftslagen.

RödaKorset

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

JET i Culham har snart tjänat ut. Byggnationen började 1978 och slutade 1983 och plasmat tändes för första gången 1983. Som det ser ut nu ska den få leva till 2019.

Under åren har JET tjänat många syften – man har kunnat visa att man faktiskt kunde tända ett plasma, att man kunde förse det med bränsle löpande, och att man kunde klara av reparations- och underhållsoperationer inne i reaktorn med ett remote handling system, i princip en fjärrstyrd ”orm” som kan åla sig runt inne i reaktorn utan att vidröra något.

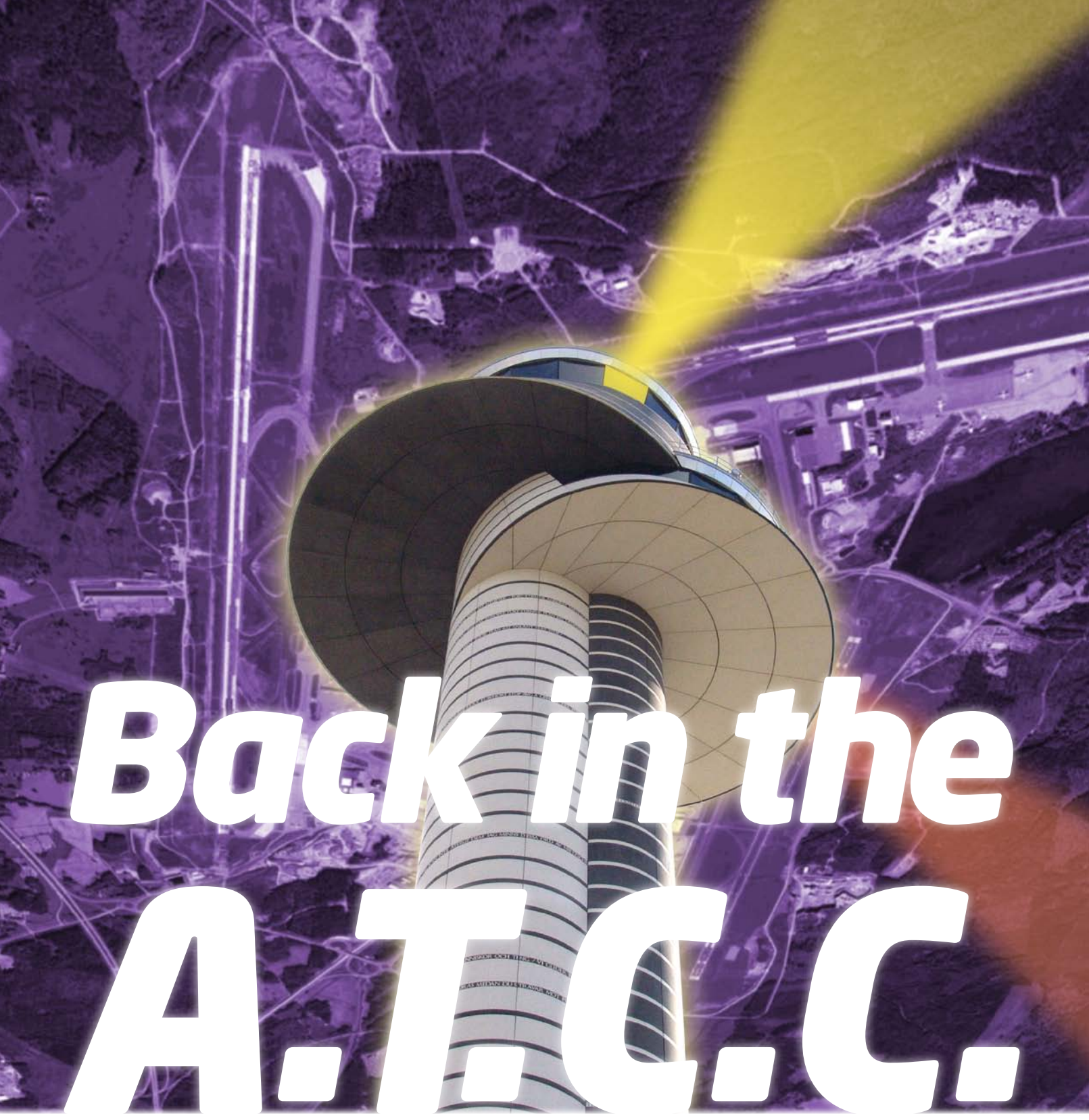
Dessutom lärde man sig att löpande avlägsna reaktionsrester, nukleärt skräp, huvudsakligen helt vanligt helium (sånt där som solen producerar) som annars hotade att släcka reaktionen.

Det senaste på agendan är att man undersöker materialval för den kommande ITER-reaktorn.

Men notera att JET i Culham aldrig producerat någon energi, eller i alla fall aldrig mer energi än man matat in i den. Den har maximalt kunnat mata ut 70 procent av den energi man stoppat in. Energiproduktion var aldrig avsikten. JET är en forskningsanläggning där man vill lära sig om mät- och materialteknik.

Nästa höjdpunkt i fusionsforskningen blir ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor, som snart är färdigbyggd i Cadarache i Frankrike. I början var det en massa käbbel bland sponsorländerna om var reaktorn skulle förläggas, men Frankrike vann alltså.

En stor skillnad från JET är att ITER ska ha supraledande magneter och alltså kunna upprätthålla kontinuerlig fusion, till skillnad från JET som har kopparlindningar på järnkärna och bara klarar pulser om 20 sekunder. Nu kommer det att bli E=mc2 på riktigt. Läs mer på ITER:s egen webbplats www.iter.org.



Back in the A.T.C.C.

När nya banan togs i bruk på Arlanda 2003 skulle de gamla datorerna på flygledningen inte ha orkat med längre. Det gamla ATCAS-systemet ersattes av Eurocat 2000E. Gamla, handbyggda Datasaab ersattes av nya(re) Unix-maskiner, men för flygpassagerarna har det betytt ... absolut ingenting. Nada. Njetskij.

Det är så det ska vara.

Vi är tillbaka och undersöker det nya systemet.

Av Jörgen Städje

Spänningen stiger allt eftersom flygledarnas pannor fuktas av svetten. De gröna fläckarna på skärmarna drar sig sakta allt närmare varandra. Flight SK123 svarar fortfarande inte. Rösterna i mikrofonerna blir allt mer spända. Kaffekoppar välts ut. Radskrivarlistor bläddras och faller rasslande till golvet, allt medan en upprörd skiftledare går runt bland de svettande teknikerna och kastar ur sig order. Ett larm ljuder...

Nä. Så är det inte alls.

På ATCC Stockholm, flygledningscentralen som är belägen på Arlanda och har hand om allt från Jönköping ända upp till Trerikesröset, är det lugnt och luftkonditionerat med dämpad belysning. Radararbetsplatserna står på rad, och från sin utsiktsplats på toppen av en hel hierarki maskinvara kan flygledarna styra trafiken lugnt och säkert, som om de själva hängde mitt uppe i luften och hade radarögon. Övriga Sverige och en del av Östersjön hanteras av en precis likadan central i Malmö.

Bland glas och rostfritt stål

Vi kommer till ATCC en het sommardag. Mullret från startbanorna når oss från fjärran och blandas med fågelsången när vi kommer fram till kontrollbyggnaden och strålar samman med systemansvarige Claes Eriksen och flygledare Anders Holmström i ATCC:s skinande nya lokaler i rostfritt och glas. En maskin mullrar och rosslar, och snart har vi var sin kopp rykande kaffe och slår oss ned i myshörnan.

– Good afternoon Stockolm control, Scandinavian 123 inbound Trosa flight level 310 maintaining.

– Good afternoon Scandinavian 123, Stockholm control, radar contact, cleared Trosa three tango arrival, runway 26 in use.

– Cleared Trosa three tango arrival for runway 26, Scandinavian 123.

Anders börjar berätta:

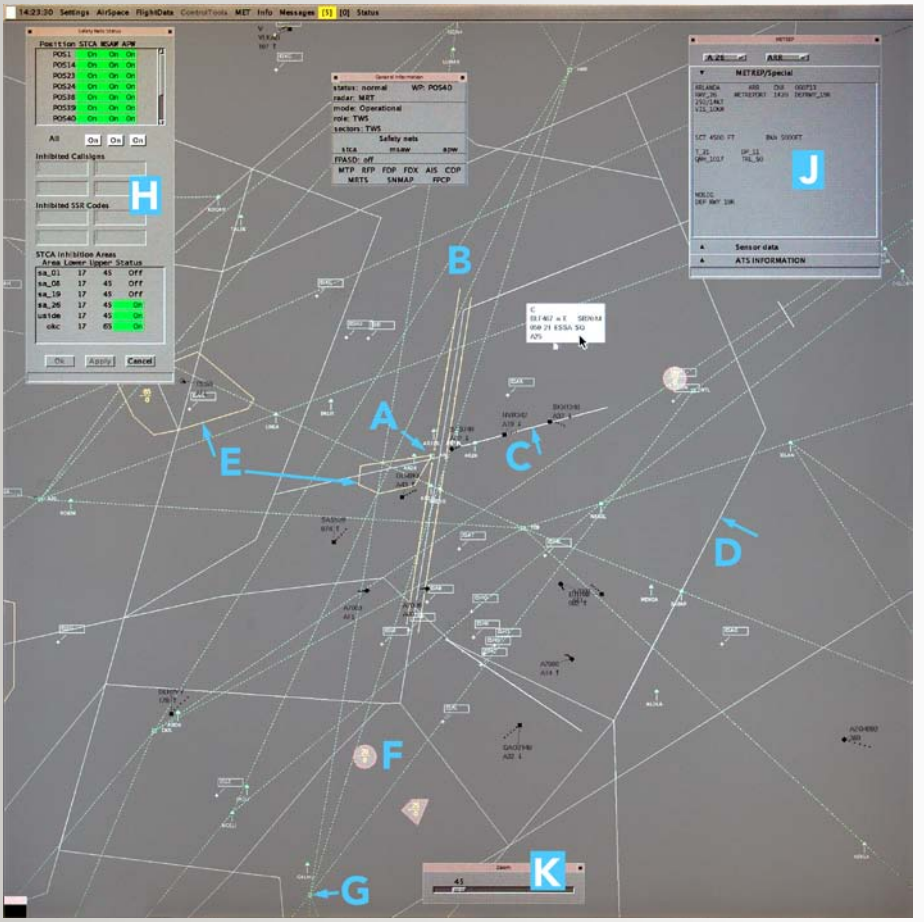
– Flygledningen ska enligt regelboken främja säker och välordnad trafik. Säkerheten sätts i främsta rummet och allt annat får stå tillbaka. Vi ska garantera fri luft, varna för tänkbara faror och kontrollera att färdplanen följs, alltså den plan som varje pilot får lämna in före start. Om färden avviker från färdplanen måste ledningen försöka ta reda på varför (slarv, bränslebrist, haveri).

– På ATCC arbetar 150 personer i treskift för att klara cirka 90 flygrörelser i timmen, dygnet runt. Det enda luftrum som inte hanteras är den lilla luftbubbla som finns just runt Arlanda flygplats, Arlanda CTR (kontrollzon). När flygplanen kommer dit överlämnas de till de 40 personerna i Tornet, som arbetar med starter, landningar och markrörelser (”taxiing”).

Ingen höjer rösten.

Man hör knappt ett knyst.

Hollywood har serverat oss en helt felaktig bild av en arbetsplats där det mänskliga



Flygledarna arbetar med en syntetisk bild av omvärlden sammansatt av tolkade radarekon av flygplan och färddata om dem, heldragna sektorgränser som utmärker just den flygledarens ansvarsområde, verkliga eller virtuella fixpunkter i luftrummet och streckade, föreslagna flygleder. Bildskärmen är den största du sett: 2 000 × 2 000, och bildkvaliteten är skrämmande hög. Flygledarna föredrar en grå, kontrastfattig, vilsam bild som knappt går att publicera, så vi har manipulerat kontrasterna. Här finns också alldeles för många detaljer – flygledarna är minimalister och stänger av allt de redan känner till. Bilden visar luftrummet i östra Sörmland och Uppland, centrerat kring Arlanda.

A: Arlanda befinner sig i mitten av bilden.

B: De två lutande gula linjerna symboliserar norrifrån inflygningssträckorna till de två nya, parallella landningsbanorna (banorna 01/19 höger och vänster) och startsträckor söderut.

C: Den nästan horisontella linjen C symboliserar inflygningen till bana 26. Tre plan (svarta) har lagt upp sig på rad för att få landa österifrån.

D: Den heldragna linjen är en sektorgräns, som indikerar just den här flygledarens ansvarsområde. När ett flygplan kommer in i sektorn anropar det trafikkontrollen, identifierar sig och får förhållningsorder. När man lämnar sektorn säger man artigt adjö.

E: Områden som omgärdas av gula heldragna linjer är bullerrestriktionsområden. Det till höger är Märsta, som man måste flyga runt.

F: De grårmärkta områdena är restriktionsområden där flygning är förbjuden på vissa höjder. Just F är Hall-fängelset i Södertälje, där ingen får flyga för risken att någon skulle kunna hjälpa fångarna ut.

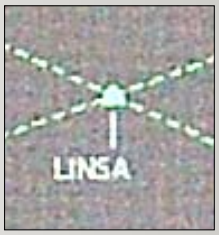
G: De föreslagna flygflederna konvergerar över verkliga eller virtuella fixpunkter. G är radiofyren i Trosa, Trosa VOR, över vilken mycket trafik söderifrån slussas.

H: Safety Nets Status-menyn visar status på de hjälpmedel för konfliktvarning som finns tillgängliga.

J: Metrep-menyn (meteorological report) visar meteororologiska förhållanden på det ställe man valt och de älskar three-letter-acronyms: **ARLANDA RWY_26 250/14KT VIS_10KM SCT 4500FT BKN 5000FT T_21 DP_11 QNH_1017 TRL_50** betyder att rapporten gäller Arlanda bana 26, vind 250 grader 14 knop, sikt 10 kilometer, spridda moln på 4 500 fot, brutet molntäcke på 5 000, temperatur 21 grader, daggpunkt 11 grader, lufttryck 1 017HPa, genomgångsnivå 50 (genomgångsnivån är där piloten byter tryck på höjdmätaren från standardatmosfär till lokalt tryck). Utmärkt sommarväder, med andra ord.

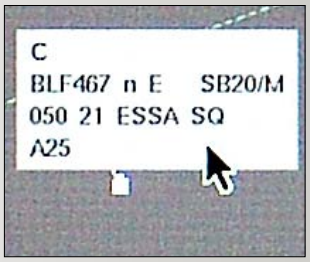
K: Man flyttar runt på bilden genom att hålla ned mittknappen på musen och dra. Bilden kan zoomas till valfri förstoring genom att man drar på zoomreglaget. Den svarta fyrkanten nere i vänstra hörnet är en blinkande jag-lever-indikator.

Tänk om du skulle råka hamna i en flygledarstol själv en dag. Då är det viktigt att du kan alla symbolerna. Tänk om du är på besök och alla flygledare har gått på rast, skiftledaren har gått på toaletten och du ensam ser en nödsituation. Vad ska du göra då om du inte kan symbolspråket?

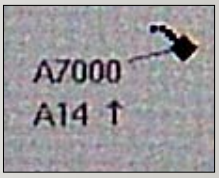


LINSA är en virtuell fixpunkt som kan användas för navigering. Den är känd för alla flygplan och kan programmeras i autopiloten. Säger flygledaren "Gå till Linsa" så vet alla vad det betyder. Den förbinds med andra fixpunkter med föreslagna flygleder, streckade gröna linjer. (Fixpunkten TEB kallas Tebby i flygledarpratet.)

Här ser vi ett plan med ruttnummer SAS579. Det anropas därför "Scandinavian five-seven-niner". Det är på väg åt sydväst, och avståndet mellan prickarna i "svansen" anger hur fort det går. Det är en simulation av efterlysningen av tidigare radarsvep som man såg på gamla radarskärmar. Ju fortare det går, desto längre är det mellan prickarna, det vill säga ju längre hann planet mellan varje radarsvep på den gamla goda tiden. 074 betyder att planet befinner sig på flygnivå 74, lika med 7 400 fot, dryga 2 200 meter upp. Trendpilen pekar uppåt: planet stiger.

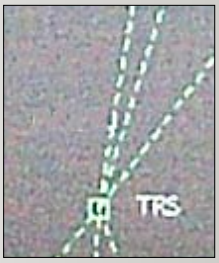


Låter man musmarkören vila på ett flygplan får man se dess färddata i korthet, det som kallas radaretiketten. Kodar man av posten **C BLF467 n E SB20/M 050 21 ESSA SQ A25** blir det så här: Anropssignal "**Bluefin 467**", **n** = antalet flygplan (normalt 1, men kan vara fler vid militära flygningar), **E** = arbetsstation på den sektor som handhar flygningen, **SB20/M** = flygplanstyp SAAB2000 och turbulenskategori Medium, **050** = aktuell höjd det vill säga flygnivå 50, **21** = aktuell fart det vill säga 210 knop, **ESSA** = destination Arlanda, **SQ** = turnummer i landningssekvensen, **A25** = klarerad höjd det vill säga 2 500 fot.



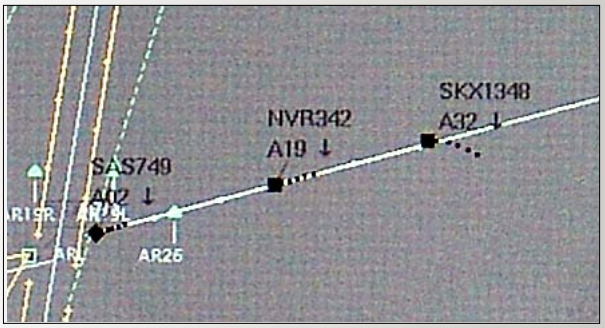
Det här tämligen långsamma objektet **A7000** är ett **privatflygplan** med transponderkod 7000 inställd, alltså en hjälpkod som betyder att planet vill synas på radarn men inte hanteras av ATCC. Det ligger på flygnivå 14 och är stigande, men 1 400 fot (420 meter) är för lågt för att hanteras av ATCC just där. Det ligger under kontrollerat luftrum. Flera plan kan samtidigt använda hjälpkoden A7000.

Restriktionsområden är områden där all flygtrafik är förbjuden inom det angivna höjdsegmentet, i detta fall från flygnivå noll (marken) till 20 (2 000 fot, 600 meter). Det rör sig här om ett fängelse, men det kunde lika gärna handla om militära områden, fågelskyddsområden och så vidare. Pekar kursen ditåt, larmar systemet.



TRS är radiofyren Trosa VOR (VHF Omnidirectional Radio range) som sänder riktningsdata på 114,3 megahertz så att man kan flyga rätt på den med en VOR-mottagare. Det är en klassisk radiofyr som är bekant för alla flygare i stockholmsområdet. Den ligger egentligen i Vagnhärad, och från luften ser riktantennerna ut som en ring av vita prickar på marken.

Slutligen en förstoring av inflygningen till Arlandas bana 26. Tre plan ligger uppradade på final för att landa: **SAS749 A02** (Scandinavian Airlines, approach 200 fot [60 meter] och sjunkande), **NVR342 A19** (Novair 1 900 fot [570 meter] och sjunkande), **SKX1348 A32** (Skyways 3 200 fot [960 meter] och sjunkande). Den vita linjen visar radiostrålens utsträckning för instrumentlandningssystemet ILS.



intellektet styr och ställer över så många människoliv. Inga order ges av en despot till chef, utan allt som görs följer strikta riktlinjer, har gränsvärden som inte får överskridas och säkerhetsavstånd som inte får underskridas. Men ingen begär att en stackars människa ska kunna hålla reda på avstånden mellan alla de hundratals flyg som surrar över Sverige varje sekund, utan datorer sköter rutinberäkningarna och varnar när det håller på att gå på tok.

Förädlad information

Hit kommer indata från flera håll. Färdplanerna kommer från den centrala myndigheten i Europa, Eurocontrol; positioner kommer från tolv radarstationer; andra uppgifter kommer från andra flygplatser och från försvaret, som också kontrollerar Sveriges gränser och flyger egna flygplan. Och SMHI levererar väderprognoserna.

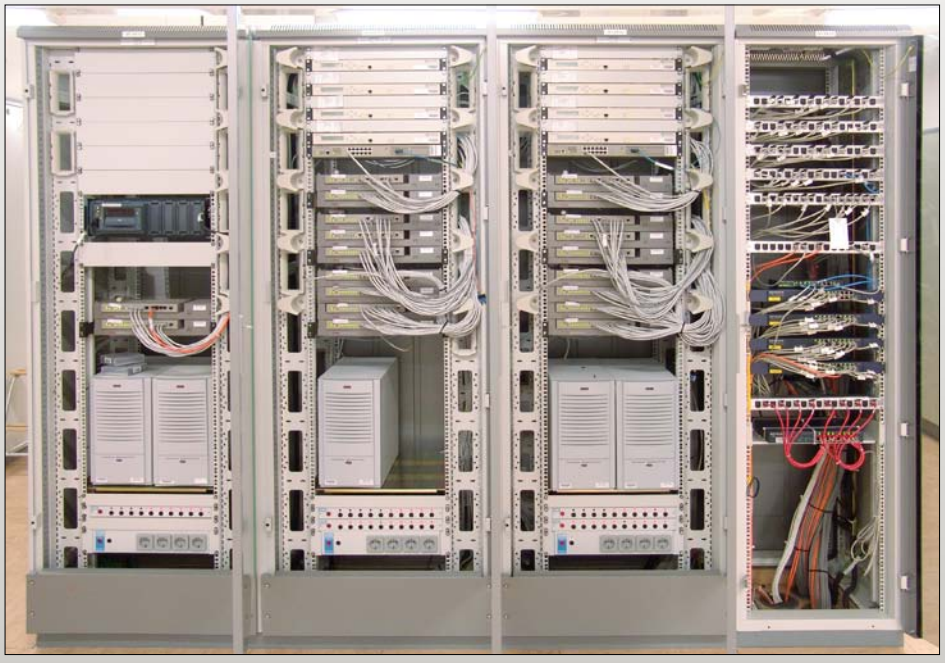
– Scandinavian 123 when ready descend to flight level 110.
– Descend to flight level 110 when ready, Scandinavian 123.
– Stockholm, Scandinavian 123 leaving flight level 310 descending to flight level 110.
– Scandinavian 123 roger.

På sin radarskärm har flygledaren en syntetisk presentation av data från alla inblandade radarer. En flygledare har bara ansvar för en sektor (ett område) och allt annat silas bort från presentationen. Radarspåret kopplas samman med färdplanen, och datorerna vet således var flygplanet är, vart det ska och när det ska vara framme. Detta visas i kortform direkt på radarskärmen som en så kallad etikett och hela färdplanen, det som förut kallades för "strip" och var en smal pappersremsa, finns idag som en textrad på en annan, mindre bildskärm.

Luftrummet över Europa är oerhört tätt trafikerat, varför alla flygningar i kontrollerad luft jämkas samman av flödeskontrollcentralen Eurocontrol i Bryssel. Alla färdplaner sänds dit och alla start- och landningstider, så kallade slottar, beräknas där och skickas ut som förväntat data till alla flygledningar som berörs. Flygningen tar i och med detta också upp en kapacitetsplats hos flygledningen. Skulle förfrågningarna överstiga kapaciteten blir det förseningar – beräknade, kända förseningar. Starttiderna dyker upp hos respektive flygledning eller torn, och flygaren slussas därefter genom sektorerna på vägen. Färddata "åker med" planet på färden och visas hos de flygledare som berörs, oavsett om de sitter vid bänken bredvid eller i Malmö eller i något torn på en mindre flygplats. Utdata från ett system åker in i nästa. Datorsystemen eliminerar alla avstånd.

Inga riktiga datorer längre

Sedan vårt förra besök i gamla kontrollen under gamla flygledningstornet (N&K 19/2000) är det mycket som har hänt. Ute är de "riktiga" datorerna, Datasaab Censor 932 – femmeters längor med rackskåp med kraften hos en



När vi gläntar bakom förlåten i datorhallen hittar vi huvudsystemet för Eurocat 2000E. **Till vänster** ser du det första av de helt dubblerade systemen. Från vänster i bild ser du fyra Alpha-servrar för MRTS-, CD-PS-, SNMS- och DSMS-systemen. Ovanför dem två bandstationer för backup och överst en RAID-disk för loggning av alla händelser, radarbilder och samtal, i princip flygledningens "svarta låda". Nästa skåp innehåller DRPS- och SAMS-servrarna i botten, med FDDI-utrustningen ovanför; allra överst sitter fler backupstationer. Nästa skåp innehåller Microline-frontend-datorerna. Skåpet längst till höger innehåller en avvecklad server och mer nätverksutrustning.

Skåpet bakom ser exakt likadant ut och servrarna där tar över utan tidsfördröjning om en av dem skulle stanna i det första skåpet.

Då går vi ned i vår källare och vad hittar vi där? Ett system till. RFBS (Radar Fallback System, **nedan till vänster**) förser operatörerna med radardata om MRTS slutar fungera. RFBS har egna nätverk för intag av radardata och för distribution av radardata till operatörspositionerna som kan användas om det ordinarie går ned.

Telefonväxeln (som du ser en bit av nedan), eller VCS (Voice Communication System) hanterar alla talfunktioner, som snabbtelefon, utringning på telenätet och talkommunikation med flygradiosändare, Arlandatornet och flygledare på andra flygplatser i Mellansverige. För flygledaren spelar det ingen roll var den andre sitter – allt hanteras på samma sätt.

PC ungefär. Det var riktiga datorer, fulla med blinkande lampor och sköna paneler med strömbrytare, som inte bara kunde förse 23 radarskärmar med realtidsuppdaterad vektorvideo och beräkna slottider med uppgifter från Eurocontrol i Bryssel, utan dessutom skötte utskriften av stripparna.

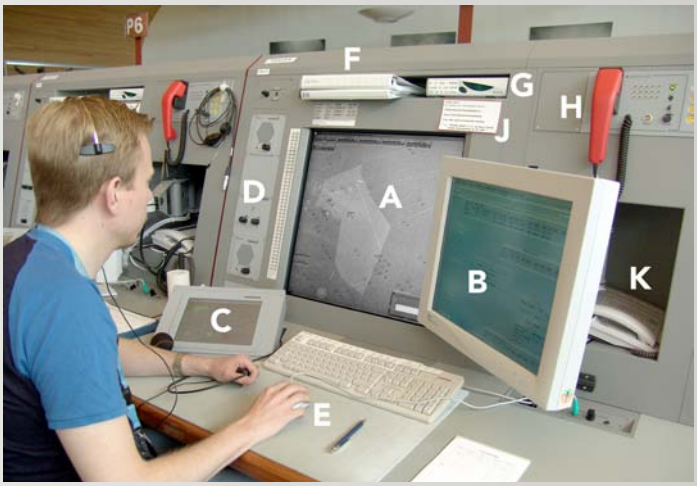
– Scandinavian 123, due to opposite traffic turn right to heading 040.
– Turning right to heading 040, Scandinavian 123.
– Scandinavian 123, free of traffic, fly direct Tebby.
– Direct to Tebby, Scandinavian 123.

I de nya lokalerna står istället ett par rackskåp med DEC Alpha-servrar som helt oromantiskt gör jobbet 1 000 gånger snabbare än gamla Censor, inte kräver en lokal reparationsverkstad eller något omfattande förråd med schottky-TTL-kretsar och män i vita rockar med wirpistoler. Systemet Eurocat 2000E, servrar, arbetsstationer och programvara har levererats av franska-brittiska Thales ATM.

Programmet är skrivet i C och ADA och en viss mängd Java, och har en del intressanta funktioner. Det finns till exempel ett middleware-lager mellan högnivåfunktionerna (radarspår, loggning med mera) kallat UBSS (Unix Basic System Services) som bland annat garanterar att informationen dyker upp samtidigt på alla skärmar och sköter vissa systemövervakningsfunktioner. Användargränssnittet är skrivet med hjälp av en ODS Toolbox, ett verktyg från Eurocontrol som ska underlätta framställning av standardiserade, vilsamma människa–maskin-gränssnitt för flygledning.

– Vi var lite rädda för att det skulle börja dyka upp franska felmeddelanden, men den

På ATCAS-tiden var arbetsplatserna mycket spejsigare. Det var mer rymdkadett över det hela, men mycket svårare att underhålla. Det fanns inga touchskärmar då, så man kunde inte göra syntetiska tangentbord som i det nuvarande Frequentis-systemet utan allt sköttes med "riktiga" knappar. Radarbilden panorerades med en fast monterad rullboll, idag använder man mus.



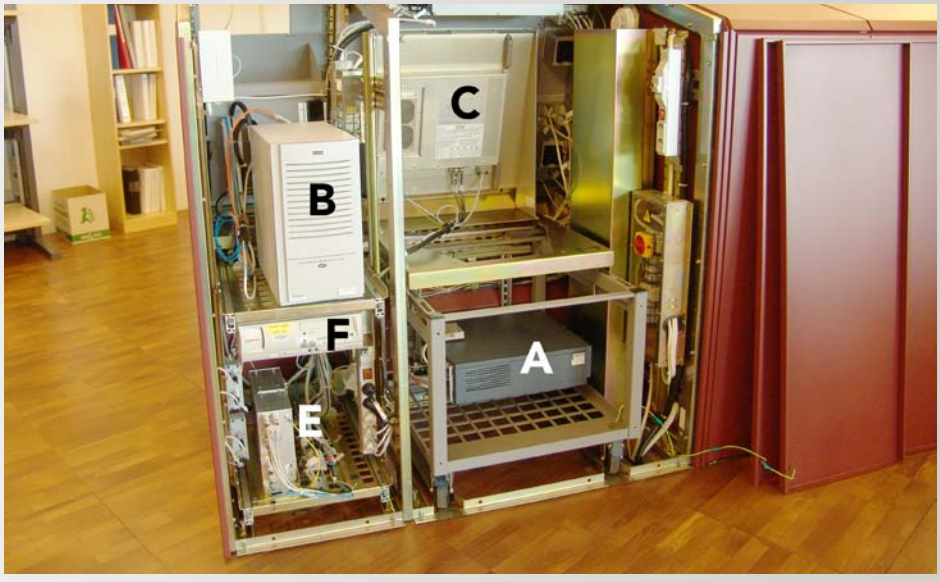
En modern arbetsplats. Två bildskärmar: 28 och 22 tum, där flygledaren kan presentera olika bilder och listor. Den större presenterar en radarbild där alla flygningar visas överlagrade på en förenklad karta. Den mindre kan till exempel visa listor över alla flygningar som förväntas komma in i det luftrum flygledaren har ansvar för.

Inte din vanliga Skype-telefon. Den här bildskärmen har väldigt många sidor, med snabbval, interna telefonkataloger, olika radiosändare och dessutom ett helt vanligt numeriskt tangentbord. Genom Frequentis-växeln kan alla flygledare tala med alla plan, andra flygledare på ATCC och på andra flygplatser som om de satt alldeles intill, och dessutom ringa ut på telenätet. Skulle ett radioanrop komma in från den sektor flygledaren har ansvar för (för att det kommer in på sektorns frekvens) och denne sitter i telefon, kopplas telefonsamtalet ut på en extern högtalare och radioanropet hamnar i hörluren.

A. Huvudskärm som visar Eurocat 2000E sekundärradarbild. (Kvaliteten på den stora 2 000 × 2 000-skärmen är otäckt hög – man nästan skär sig i ögonen.) **B.** Textskärm som visar ruttdata, "strippar", färdplaner och andra meddelanden, eller kan kopplas om till ATCAS grönskärm om så skulle behövas. **C.** Frequentis kommunikationssystem, multitelefon, intercom med mera. **D.** Högtalarpanel för intercom. **E.** Mus och tangentbord. Tangentbordet har funktionstangenter för ATCAS-systemet. F9 startar om den emulerade CPU:n! **F.** Pärmar med regelverk **H.** Switch med vilken man kan koppla om textskärmen till att visa ATCAS gröna radarbild om man skulle behöva gå över till RUFF på grund av systemfel i Eurocat 2000E. **H.** Röd nödradiolur med förvalda frekvenser om det ordinarie radiosystemet inte fungerar. **J.** Lista med nödprocedurer. **K.** I ett hål bakom bildskärmen ligger en helt vanlig systemtelefon som kan användas om Frequentis strejkar.

Arbetsplatserna står i långa rader så flygledarna kan prata med varandra. Varje sektor (ansvarsområde) sköts av två flygledare i tandem enligt principen "fyra ögon ser mer än två".

Fram till år 2000 var det hårdkopplad vektorritlogik (rack med vita kretskort och svarta nätagg) som hade hand om bildskärmen och omvandlade grafikkommandon från Censor-datorn till vektorer på PPI-bildröret (det stora svarta, en X-Y-skärm) och skötte zoomning och panorering.



Inuti en modern arbetsplats är det mest tomrum. **A** är den Alpha-maskin (Alpha DS-10, Tru-64 med 120 megabyte RAM) som sköter hela klientfunktionen och kommunicerar med FDDI-ringen. Alfa-stationen **B** (Alpha 500AU) skötte klientfunktionen tidigare, men då kraven ökat på maskinkapaciteten exekverar B numera bara X Window och lägger upp en bild på stora skärmen. **C** är själva bildskärmen. Utrymmet bakom upptogs förut av en bildrörsskärm, men den är numera borta till förmån för LCD-skärmen. **E** är terminalenhetens kommunikationsdator mot Frequentis-växeln och **F** den PC som exekverar RUFF-klienten för ATCAS-systemet.

MASKIN- OCH PROGRAMVARA GENOM ÅREN

		1959-1978	1978-2005	2005-2010	2010-
MASKINVARA	FABRIKAT	Manuell hantering med primärradar och pappersstrippar	Datasaab	Digital	PC-kompatibel
	NAMN		Censor 932	Alpha 500AU	Upphandlas
	ANTAL		1 trippelredundant. Särskild dator för hantering av Alfaskop textskärmar	8 redundanta, 1 single	10 redundanta, 1 single
	TEKNIK		Handbyggd SSI/MSI-TTL	Masstillverkad, tämligen kvalificerad	Off-the-shelf
OS	FABRIKAT	Manuell hantering med primärradar och pappersstrippar	Inget. Interruptstyrda subrutiner.	Digital	Thales ATM / GNU
	NAMN		–	Tru-64	Thallinx (Linux)
APPLIKATION	FABRIKAT	Manuell hantering med primärradar och pappersstrippar	Datasaab	Thales ATM	Thales ATM
	NAMN		ATCAS-1	EuroCat 2000E	EuroCat 2000E
	SÄRSKILDA EGENSKAPER		Syntetisk presentation av sekundärradar	Pappersstrippar borta. Automatisk konfliktvarning	?
ARBETS-STATIONER	FABRIKAT	Manuell hantering med primärradar och pappersstrippar	Ericsson/Stansaab	Thales ATM	Upphandlas
	TEKNIK		Vektorskärm. Hårdvirad elektronik ritade grafiken	LCD, Alpha-stationer för grafik och logik	LCD, PC-kompatibel
	ANTAL	3	23	40 (+8 TWR)	> 50
TALKOMMUNIKATION		Push-to-talk-radio, standardtelefon	Reläbaserad växel för intercom, flygradio, torn, andra flygplatser och PSTN.	Frequentis växel för intercom, flygradio, torn, andra flygplatser och PSTN.	Nytt talkommsystem ska byggas ut mellan alla Sveriges torn.
SAMTIDIGT PÅ ARLANDA ...		Öppnad för övningsflyg 1959. Första banan öppnad för trafik 1960. Första flygledartornet tas i bruk 1964. Kontrollcentral invigs 1965, terminal 5 (utrikes) 1976.	ATCC får nya lokaler. Terminal 4 (inrikes) invigs 1983. Terminal 2 (inrikes) invigs 1990. Nya flygledartornet tas i bruk 2001. Tredje banan tas i drift 2003.	ATCC får nya lokaler igen. Arlanda Cargo City byggs 2006. Nya, hårdare bullerrestriktioner kräver hårdare styrning.	2012 kommer Cargo City att ha fördubblats. Trafiken mot Baltikum och Östeuropa kommer att öka.

Teknikanvändningen har växlat våldsamt vid Arlanda från första övningsflygningen 1959. Den enorma ökningen av antalet starter och landningar från en då och då till dagens 90 per timme har gjort att människan behövt mer och mer stöd för visning, konfliktvarning, upprätthållande av avstånd och andra regler och beslutsfattande. Från att från början varit helt pappersbaserad, över begränsad pappershantering med "strippar" med färddata för varje flygplan är allt papper idag helt borta. Det yttersta beslutet om när ett flygplan kommer till kontrollområdet tas inte längre lokalt utan centralt i Europa, av Eurocontrol. Inom de närmaste åren kommer trafiken mot Östeuropa att öka när dessa länder börjar nå vår standard och trycket på flygledningssystemen kommer att öka i samma mån.

rädslan har kommit på skam, säger Claes. Vi är tvärtom mycket nöjda med dokumentationen.

Utvecklingen har gått från Datasaabs operativsystemlösa, slingkodade centraldatorsystem till ett client/server-baserat Unixsystem med Tru-64 från Digital Equipment. Arbetsplatserna är inte längre hårdvarumonster med egen inbyggd vektorrenderelektronik och en anslutningsbuss tjock som en boaorm, utan helt vanliga tunna LCD-skärmar och en Alpha-station med FDDI-nätverk. Ericssons bildskärmar höll visserligen så hög kvalitet att de mycket sällan gick sönder, men å andra sidan är en LCD-skärm så billig att man kan kasta bort den om något händer och snabbt sätta in en ny.

Från 1991 till limpa

Alpha, Tru-64, FDDI? Vad är det här? Antikrundan? Nej, snarare Säkra Sunes myshörna. Systemets specificerades inte igår, direkt. Ett flygledningssystem ritar man inte upp på en servett på en kafferast och ringer leverantören på eftermiddagen. 1991, när specifikationerna skrevs, valde man det säkraste och starkaste som fanns, och för femton år sedan var det just Alpha och FDDI.

Och man hade höga mål att sträva mot: Datasaab Censor-maskinerna innehade någon slags datormaratonrekord med sina obrutna 28 år i drift utan större haverier. Under de 28 åren hade datorindustrin hunnit in i ett nytt skede, och gått från grejor som höll i evighet till grejor som var gamla redan nästa månad. Idag finns varken Digital Equipment eller Compaq längre, och det börjar bli svårt med reservdelar till Alphorna. FDDI blev heller aldrig något allemanssystem.

Därför är det inte så konstigt att maskinvaran till Eurocat 2000E kommer att tas ur drift 2010 efter att bara ha varit igång i fem år. Och cyklerna kommer att bli allt kortare.

– Scandinavian 123 contact approach on 125.650.

– Contact approach 125.650, Scandinavian 123.

– Stockholm approach, Scandinavian 123 descending to flight level 110.

– Scandinavian 123, Stockholm, radar contact, continue descend to 5 000 feet, QNH 1013, after Tebby fly heading 010.

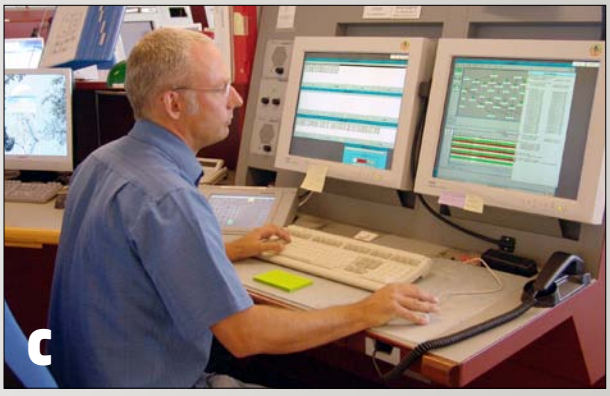
– Descend to 5 000 feet, QNH 1013, after Tebby heading 010, Scandinavian 123.

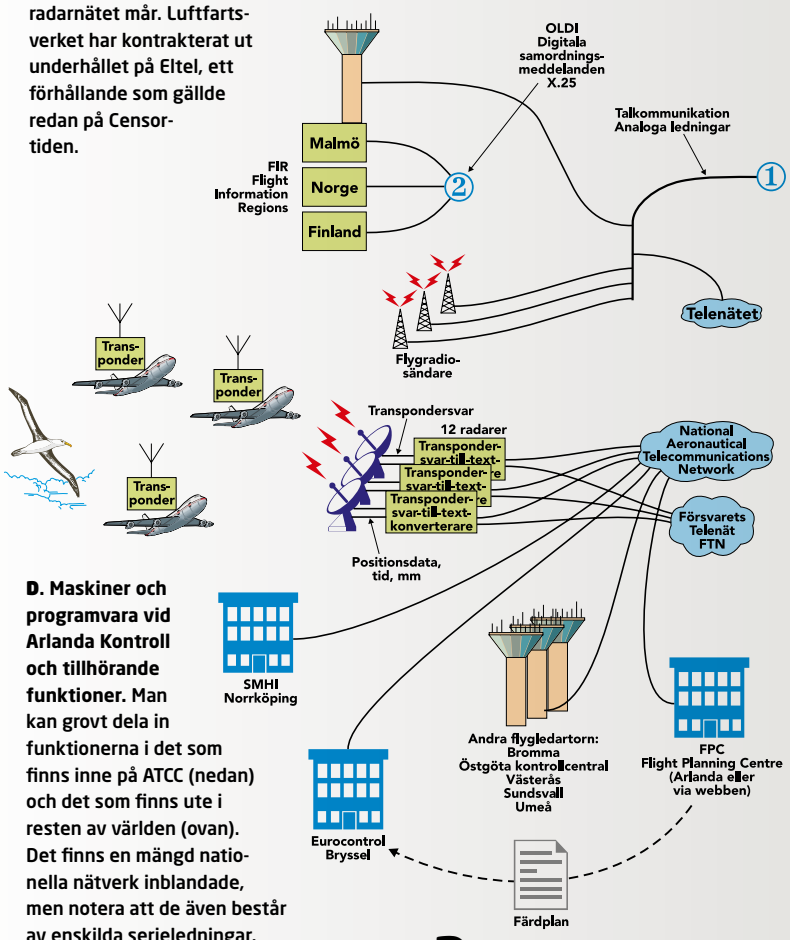
Och då har systemet redan passerat två cykler Alpha-maskinvara. Från början satt det en DEA 500 AU i varje arbetsstation, och den var tillräckligt stark för att driva bildskärmen, hantera logiken och kommunicera med nätverket. Efter ett tag blev programuppdateringarna för tunga och den befintliga Alpha-maskinen degraderades till bildskärmshanterare med X Window, medan en ny Alpha DS-10 fick ta över logiken och nätverket. Under tiden hade de ursprungliga bildrörsskärmarna gått ur tiden och ersatts av LCD.

A. Översikt över flygledningen. Det ser aningen trist och mjäkigt ut. Inga skarpa färger, inga hårda kontraster Dessutom är det nästan knäpptyst. Men så måste det vara när man ska vara på helspänn hela tiden. Här gör man inga misstag – som Ronjas far Mattis skulle ha sagt: ”Då gör du inget mer!”

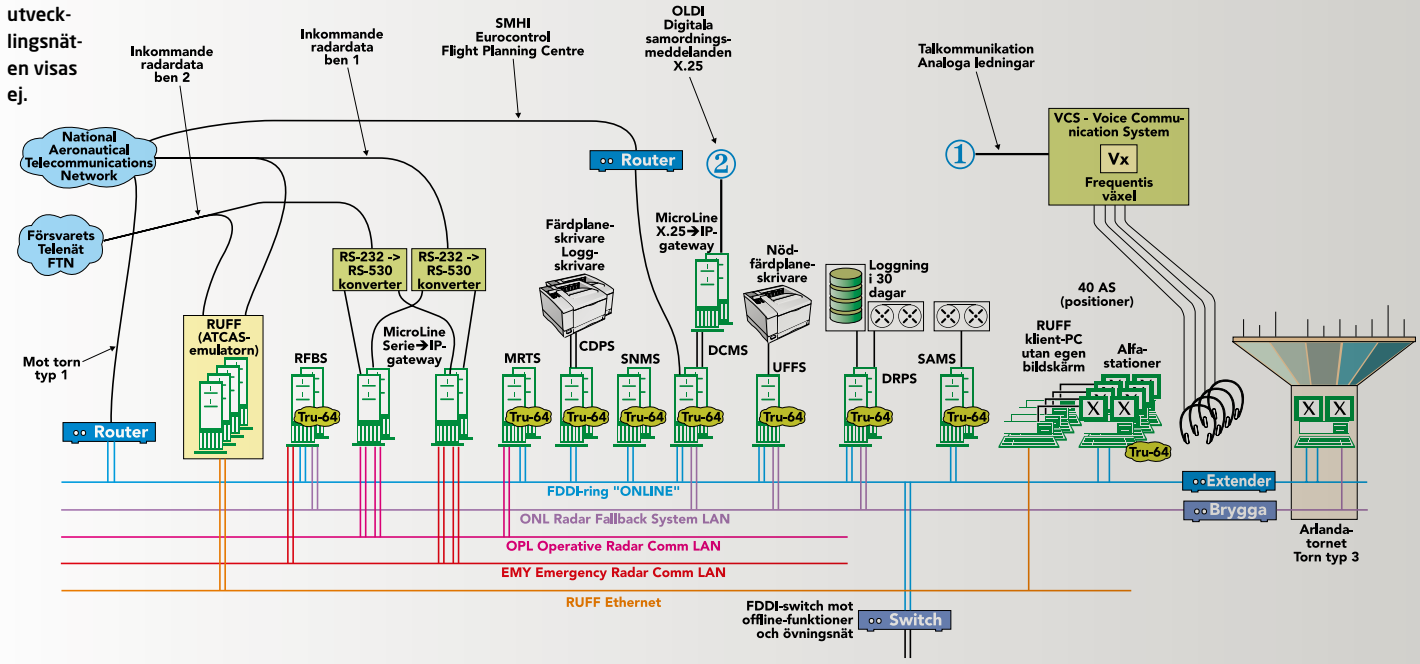
B. Watch supervisor, vaktföreståndaren (skiftledaren) har högsta ansvaret för driften, men har huvudsakligen en administrativ funktion (skärmen till höger). Hon kan också agera flygledare om så skulle behövas (skärmen till vänster) eller ändra sektoransvaret, alltså vilken arbetsstation som ska ha hand om vilken sektor (skärmen i mitten).

C. Systemövervakningen sker också på en arbetsstation från Thales. Här är det systemansvarig på Eltel Networks, Claes Eriksen, som kollar hur det svenska dubblerade radarnätet mår. Luftfartsverket har kontrakterat ut underhållet på Eltel, ett förhållande som gällde redan på Censortiden.





D. Maskiner och programvara vid Arlanda Kontroll och tillhörande funktioner. Man kan grovt dela in funktionerna i det som finns inne på ATCC (nedan) och det som finns ute i resten av världen (ovan). Det finns en mängd nationella nätverk inblandade, men notera att de även består av enskilda serieledningar. Övnings- och utvecklingsnäten visas ej.



Trogen kopia. Det operativa systemet ar en exakt spegel i det här övningssystemet, off-line-systemet. Det används vid utbildning och andra övningar. Terminalerna längst bort med dubba bildskärmar används av "piloter" som är ute och "flyger" i det virtuella luftrummet och ska stressa flygledningsaspiranterna.

Men vad är det här? Vi hittar lite Windows i flygledningen ändå! Var inte orolig, maskinerna har inga livsuppehållande uppgifter: det är systemövervakningen för NATN-nätet.

Men det är moderna tider nu, och snacket kommer alltid in på Linux:

– Nästa generation kommer att bli Thallinx (Thales egen Linux) på PC-servrar, säger Claes, och nätverket blir Fast Ethernet, eftersom båda numera visat sitt värde som säkra och öppna system. Luftfartsverket har inte längre för avsikt att fortsätta med specialmaskinvara, utan nu ska det bli COTS – commercial off the shelf.

Redundanta serverpar ... och förkortningar

Alla tjänster i systemet levereras av redundanta serverpar (se systemskissen på föregående sida). Och nu, mina damer och herrar, börjar förkortningarna.

• MRTS – Multi-Radar Tracker System – tar hand om allt inkommande data från flera radarer när det konverterats av Microline-gatewayarna (mer om dem nedan) och gör sensorfusion, alltså blandar ihop alla radarbilder och gör en enda heltäckande bild av dem.

• CDPS – Central Data Processing System – tar alla färdplaner från Bryssel och distribuerar dem till lämplig ansvarshavande flygledares 22-tumsskärm, eller skriver ut dem, om det behövs.

• SNMS – Safety Nets & Monitoring System – är ett planeringsverktyg som gör tredimensionella modeller av flygningarna beräknade ur färdplanedata, justerat efter hand med radardata. Det varnar långt i förväg om flygen kommer att hamna för nära var varandra. Dessutom kontrolleras i realtid med hjälp av radardata om två plan håller på att komma för nära varandra, baserat på höjd, fart och kurs.

• DCMS – Data Communication System – är kommunikationsnoden. Den kommunicerarmed andra flygplatser, Bryssel med flera, via Luftfartsverkets NATN (National Aeronautical Telecommunications Network) och hämtar in rådata, väder och andra meddelanden till systemet. Därifrån sprids det till systemets övriga delar.

• DRPS – Data Recording & Playback System – är den "svarta lådan". Den spelar in allt som händer vid varje arbetsplats, radar, samtal och så vidare. Det blir till 140 gigabyte per dygn, och det sparas i 30 dygn.

• SAMS – Sequence And Metering System – är basen i den så enligt regelboken välordnade trafiken. Den ser till att luftrummet utnyttjas effektivt genom att placera flygplanen på ett bra sätt.

• Microline gatewaydatorer behövs för att omvandla den inte helt moderna nätverkstrafiken till något som passar i nätet. LFV:s nätverk består huvudsakligen av fasta linjer som det kommer olika former av ASCII-kod på, till exempel text från radarnätet eller andra textmeddelanden. Microlinedatorerna tar seriekoden från radarstationerna och gör om den till IP-paket så den passar på nätet. De hanterar också OLDI (On-Line Data Interchange), digitala realtidsmeddelanden som kommer in från andra trafikkontroller över X.25.

Om flygtrafiken måste avvecklas

Men skulle systemet stanna måste flygtrafiken avvecklas. Man måste på ett säkert sätt ta ned de flyg som håller på att landa, avvisa alla andra och hålla kvar på marken de flyg som inte startat än. För det ändamålet har man två system till, och alltså ytterligare två förkortningar:

• UFFS – Ultimate Flightplan Fallback System – är ett nödsystem som kan skriva ut alla färdplaner som gäller för stunden om andra rapporteringsmöjligheter skulle fallera.

• RFBS – Radar Fallback System – är ett alternativ till MRTS som kan användas om detta skulle stanna och alla blir helt utan radarbilder.

Som sista förkortning i serien har vi den förtjusande RUFF, Radar Ultimate Fallback Facility, som är helt fristående från det övriga system och innehåller vår gamle kompis ATCAS i

emulerad form (som du kan läsa mer om på nästföljande sidor).

– Scandinavian 123, turn left heading 290, cleared ILS approach runway 26.
– Turn left heading 290, cleared ILS approach runway 26, Scandinavian 123.
– Stockholm, Scandinavian 123 established ILS runway 26.
– Scandinavian 123, roger, contact Arlanda tower 118.5.
– Contact Arlanda tower 118.5, Scandinavian 123.

Tornet har sin egen sektor att ta hand om: luftrummet närmast Arlanda. För den skull har de en förlängning av FDDI-nätet och två arbetsstationer, en brygga mot radarnätet och två datorer som levererar färdplaner.

Undertecknad smälter all information, skärskådar systemskissen och frågar försynt:

– Jag ser inget Windows här?

– Nej, nej, nej. Skulle vi sitta och vänta på blåskärm? Trodde du det dög att trycka Ctrl-Alt-Delete och vara uppe igen efter ett par minuter?

Det smarta, smarta radarnätet

Ord och inga visor. Från det ena tillbaka till det andra, ATCC använder sig av tolv radarstationer i det svenska radarnätet. Det är egentligen två nät, dels Luftfartsverkets NATN, dels försvarets telenät FTN. Försvaret har också ett intresse i radardata, och dessutom blir det redundant på det viset.

Man skulle kunna tro att radarinformationen sänds som bilder eller video, men det är mycket smartare än så. Det sänds som text på vanliga seriella linjer med ASTERIX-protokollet (All-purpose STructured Eurocontrol Radar Information eXchange), en internationell standard bland ungefär 17 andra protokoll och 25 subklasser för radardata. När det kommer fram till ATCC är det helt vanlig ASCII.

Här har någon tänkt! Det måste vara den ultimata datakomprimeringen. Varje radareko med transpondersvar sänds över som ett textblock med position, tid och transponderdata i form av transponderkod och höjd. Man behöver inte sända en bild eftersom alla datorer på ATCC redan har en karta och redan vet var Säffle ligger. Man slipper undan allt arbete med grafisk sensorfusion, det vill säga att koppla ihop alla tolv radarbilderna, se vilka ekon som är samma flygplan och ordna eventuella missstämmelser i kanterna. Alla flygplan kan samlas i en textlista och man kan helt enkelt sortera listan efter transponderkod och kasta alla dubbletter och bara spara en.

Analogt alternativ. Skulle det trots allt gå åt skogen med lugnet eller om ett filmteam från Hollywood skulle komma in har man UMEVFS (Ultimate Manual Emergency Voice Fallback System). Ett helt fristående, handhållet analogt system för skiftledaren.

– Arlanda tower, Scandinavian 123 on ILS approach runway 26.
– Scandinavian 123, Arlanda tower, wind is 280 degrees at 12 knots, cleared to land runway 26.
– Cleared to land runway 26, Scandinavian 12.

Och vad rapporterar sekundärradarn? Jo, den rapporterar det som flygplanets transponder rapporterar, nämligen den fyrsiffriga transponderkod (SSR-koden) som är flygplanets identitet, höjd, samt den position som radarn upptäckte. Man kan dessutom välja särskilda SSR-koder för kapningssituationer. En annan kod man kan ställa in är en som anger att man har problem med radion och inte kan prata med flygledningen. Ytterligare en kod är 7000, som betyder att transpondern vill synas på radarn men inte hanteras av ATCC.

Och så där håller det på. Hur ogärna vi än vill lämna denna sköna blandning av gammal och ny teknik, måste vi ändå till sist motvilligt ge oss av. LFV:s reglemente föreskriver att våra kaffemuggar måste processas i SLAFS (Stain Localisation And Forfeiture System) innan de ställs upp vid gate 47.

När vi kommer ut i den härliga kvällssolen blandas vindens sus med dånet som uppstår då kapten på en Lufthansa Airbus 310 med en lätt knyck på handen för gasreglaget bakåt och vrålande lyfter från bana 01. Buren av aerodynamikens lagar kastar sig hans glänsande maskin upp i luften så stickor och strån yr och hararna ramlar omkull i skogen. Ännu ett datapaket finner stillsamt sin väg till Bryssel.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör, nätverksspecialist, teknikhistoriker och datorgrafiker. Du når honom på *jorgen@qedata.se*.

Så går du vidare

» Luftfartsverket finns på **www.lfv.se**. Teknisk information om flygledningen hittar du om du väljer **Flygbranschen** och sedan **Flygtrafiktjänst.**

» Thales ATM som gjort Eurocat 2000E hittar du på **www.thalesatm.com**.

» Gotta dig åt ASTERIX på **eurocontrol.int/asterix/public/standard_page/asterix_cats.html**.

» Flygfolket är inte kloka med sina förkortningar: **www.nordfors.net/flyglex.htm**.

» Är du i närheten av Arlanda eller på den underbara utsiktsplatsen i slutet av banorna 01-19 kan du till exempel höra ATIS (Automatic Terminal Information Service) automatiska väderrapporter på 119,0 och 121,620 megahertz. Övriga frekvenser som används vid Arlanda finns på **www.g-kraft.com/spotting.php?cmd=frekvens&aor=Stockholm.** Flygradiotrafik är AM-modulerad.

» Vill du leka flygledare själv? Flyger du simulator och behöver flygledning? Det finns virtuell flygledning på Internet på **www.vatsim.net**.

» Se vackra vyer på **www.lfv.se/templates/LFV_InfoSida_Bred____36977.aspx**.

» Den förra artikeln om ATCC hette **På Arlanda får inget krascha** och du hittar den i ditt gamla ex av **N&K 19/2000**.

» Andra som satsade på absolut säkerhet och valde Alpha var SSAB i Oxelösund – se **N&K 20/2005**. Också de arbetar mot en övergång till Linux i driften.

MER ATCAS PÅ NÄSTA SIDA!

I händelse av UFO

Vad skulle hända om någon rapporterade ett UFO? Det har aldrig hänt, men om det nu skulle hända? Vilken är arbetsgången?

– UFO:na kör ju inte med transpondern på, så det kommer att bli en pilot som rapporterar, småler flygledaren Anders. Jag skulle tala om för min vaktföreståndare att den här piloten ser ett UFO. Han ringer förmodligen Försvarsmakten. Okända raketuppskjutningar kan ibland ge konstiga fenomen.

Vi är dock båda överens om att det skulle vara kul om de fick in en rapport en dag.

– Visst vore det kul med ett UFO. Visa mig ett så ska jag tro på det.

RUFF OCH ATCAS – GAMMALT OCH NYTT I SKÖN FÖRENING

Vad är allt det här grönsvarta? Jo, om det trots allt skulle gå så illa att hela systemet stannar har flygledaren ändå tillgång till en radarbild som visar aktuella flygningars läge på 22-tumsskärmen. Denna bild genereras med ett helt fristående system, RUFF (Radar Ultimate Fallback Facility) och består av en emulering av det gamla systemet, ATCAS (Air Traffic Control Automated System). En flygledare kan när som helst trycka på en knapp på instrumentpanelen och koppla bort bilden med textlistor på sin 22-tumsskärm (eftersom ATCAS ändå inte genererar textlistor) och istället koppla in radarbilden från ATCAS. Den återger läget på samma sätt som Eurocat 2000E fast med den gamla goa vektorgrafiken, grönt på svart.

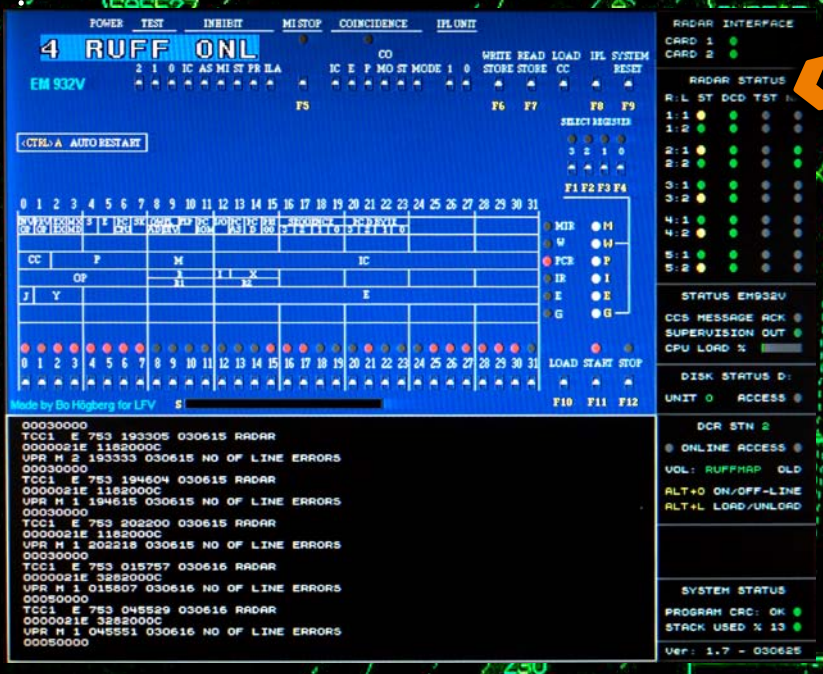
Det är osannolikt att talkommunikationssystemet skulle stanna samtidigt. Om Eurocat skulle förloras gör man alla ansträngningar för att avveckla verksamheten. Det går inte att bedriva fullödig flygledning idag utan Eurocat, med bara ATCAS.

CENSOR OCH DESS EMULATOR

Allt var bättre förr, även datorerna. Det var i alla fall fler lampor på frontpanelerna. Gamla flygledarsystemet ATCAS kördes på Datasaabs handgjorda Censor 932-maskiner i hela 28 år.

Systemet hade inget egentligt operativsystem utan bestod av en mängd rutiner som startades med interrupt. Datasaabs programmerare var något utöver det vanliga eftersom dessa jättemaskiner, som hade en kapacitet i stil med en äldre PC, kunde försörja 23 arbetsplatser med radarbilder i realtid. Maskinerna var helt handbyggda med wire-wrap-teknik och logiken bestod huvudsakligen av MSI-kretsar, TTL-logik i 74XX-serien och ett minne på 2 megabyte. Servicen utfördes av personal på plats, som fick ägna sig åt gammal hederlig felsökning med oscilloskop och AVO-meter.

Censor-maskinernas frontpanel återges med blå bakgrund på en bildskärm. Adresslamporna och brytarna på fronten visas och kan manipuleras.



Eftersom ATCAS var så osannolikt tillförlitligt har man sparat det, helt och hållet emulerat på vanliga PC ute i datorhallen. Emulatorn har skrivits av Bo Högberg, en tekniker på Eltel Networks. De tre redundanta Censor-maskinerna emuleras på fyra bordsdatorer (IBM PC) i ett rackskåp i datorhallen och varje arbetsstation har en klient som exekverar grafikfunktionerna på samma sätt som de gamla radararbetsplatserna gjorde, fast då i lite ”hårdare” hårdvara. Data förs numera över via ett Ethernet-nät. Förut var det direktkoppling som gällde.

Vad hände med Censor när gamla centralen lades ned? Jo, en gick till skrot, en såldes vidare till Ryssland och en frontpanel hamnade som trofé på Anders Holmströms kontor.

SÅ FLYGER DU TRAFIKFLYGPLAN

DEL 1 – GRUNDKURSEN

Biggles startar med ett glatt leende, Hot Shottarna flyger upp och ned och hit och dit, på film är allt så lätt och man skämtar bort alla misstag. Sanningen är att flygning är rutin, rutin, rutin. Skriv ut den här artikeln och ha i knät när du hamnar i cockpit härnäst.

Författaren vill här skildra procedurer och metoder under flygning med ett större trafikflygplan, ett Boeing 737-800, dels för att det är ett intressant teknikområde som mycket av vårt samhälle är baserat på, dels för att det både är roligt att flyga, men även för att skandalhungriga kvällstidningsskribenter ska kunna förstå hur oerhört noga den ansvarsfulle piloten tar på flygsäkerheten och att olyckor för det mesta bara sker när någon tummat på reglerna.

Bild: Wikimedia Commons

Korsvstoppningsvarning! Författaren beklagar att detta första avsnitt kommer att bli väldigt mycket korvstoppning med flyginstrument, men om du inte kan instrumenten, kan du inte tillgodogöra dig resten av texten.

Eftersom inget flygbolag skulle släppa in oss i cockpit och låta oss störa piloterna med en massa frågor under flygning, tog vi oss till simulatorföreningen Swesim i Årsta i Stockholm. Daniel Mattsson är ordförande i föreningen, privatflygare, programutvecklare och tillika dagens kapten och jag frågar honom:

– Det verkar fullt normalt att vilja ha en egen flygsimulator, men exakt varför valde ni Boeing 737-800?

– Innan vi startade förenigen flög vi simulator hemma på datorn och den simulering som var bäst, fastnade man för. B737-simuleringen i Microsoft Flight Simulator var på den tiden det bästa som gick att få. Därför blev den mångas personliga favorit. Efter viss googling fann vi att det var flera som byggde 737-or runt om i världen och det fanns företag som tillverkade delar för hemmabruk.

”En mängd olika ljudsignaler och röstmeddelanden talar om för piloterna vad de bör göra i en onormal situation”

Kvällens piloter, Viktor Jansson (tv) och Daniel Mattsson (th) står här lutade mot föreningens Draken-stjärtroder. Swesim Airlines håller inte så hårt på uniformeringen utan klädkoden är mera kom-som-du-är.

Rutin, rutin

Det gäller att man förstår att flygning av ett trafikflygplan börjar med färdplanering och beräkningar, varefter man genomför själva flygningen genom att mata in sina beräkningar i flygplanets dator och sedan i stort sett övervakar att planet flyger sig själv den angivna sträckan. Det förekommer inga äventyr eller utflykter i sid- eller höjdled. Autopiloten flyger mycket rakare, bränslesnålare och med mindre bullerstörningar än någon mänsklig pilot skulle kunna. Piloternas största insatser är vid taxning, start och kanske framförallt landning (helt bortsett från alla åtgärder vid olyckshändelser).

De flesta flygparametrar som bränsle, balansering, dragkrafter, höjder, rutt med mera, beräknas av datorprogram före flygningen. Resultatet av beräkningarna blir till olika blanketter med värden som ska matas in på olika ställen på instrumentpanelen.

Under flygningen gör flygplanets reglage själv alla rörelser som ska göras. Rattarna styr, trimreglagen snurrar och gasreglagen rör sig framåt och bakåt, reglagen som ser till att klaffar och luftbromsar fälls ut och in rör sig, detta för att det ska råda maximal taktil återkoppling och inga tveksamheter ska föreligga om manövern utfördes eller ej. Piloternas händer ligger ständigt på reglagen för att de ska känna att rörelserna utförs. Skulle piloten vilja, kan denne hålla emot autopilotens rörelser, och med tillräcklig kraft kan piloten ta över och styra en annan väg, till exempel vid turbulenser. Alternativt kan man koppla bort autopiloten, men det tillhör sällsyntheterna.

En mängd olika ljudsignaler och röstmeddelanden talar om för piloterna vad de bör göra i en onormal situation, som till exempel den gälla stallvarningen när lyftkraften är för dålig, eller varningen ”Pull up! Pull up!” om flygplanet skulle sjunka för snabbt eller befinna sig för nära terrängen.

Det här kanske inte låter särskilt roligt eller spännande, och det är för att det inte ska vara särskilt roligt

eller spännande. Det ska vara absolut bergsäkert.

Med detta sagt kan man ändå konstatera att det finns få arbeten med så majestätisk estetik som trafikpilotens.* När Jorden är helt molnfri och man sitter halvvägs ut i rymden med kontinenterna inunder sig och stjärnorna ovanför, är det svårt att föreställa sig någonting vackrare.

Utbildningen

Flygplanet framför alltid av två piloter. Det är en viss skillnad mellan kaptenens (captain) eller styrmannens (F/O eller first officer) utbildning, men med två lika utbildade tjänstemän bestämmer man bara vem som ska vara kapten inför varje flygning (PIC, Pilot In Command). Det blir då kaptenen som får sista ordet vid alla konflikter, kaptenen som inleder genomgången av checklistorna och kaptenen som ger order om olika manövrer, till exempel motorstart, taxning, start osv. Båda piloterna kan utföra (nästan) alla manövrer, vilket kan bli nödvändigt om den ene skulle bli hastigt sjuk eller behöva gå på toaletten.

För att få bli trafikpilot måste man ha tagit ett kommersiellt certifikat med instrumentflygbehörighet. Efter detta måste man gå en samarbetsutbildning (MCC) för att man ska lära sig att flyga två personer tillsammans. Det är skillnad mot att flyga själv i sin Piper eller Cessna. Man ska veta vem som bestämmer och vem som gör vad och man måste lära sig berätta för varandra vad man gör.

Efter det gäller det att få jobb på ett flygbolag. När man fått det, vet man vad bolaget använder för flygplanstyper och då måste man utbilda sig på dessa. Förr bjöd flygbolagen på det, men det sker mera sällan idag. Att lära sig flyga en B737 går på omkring 300.000 kronor. Den där glamourösa pilotkarriären med skyhög lön finns inte längre.

Naturligtvis kan denna lilla artikel inte förklara alla detaljer. Mycket har fått utelämnas. Boeings Operations Manual för 737-800:an är trots allt på 2410 sidor. Det är därför en pilotutbildning är så dyr.

Som privatflygare får man bara flyga VFR som innebär att man måste se marken hela tiden och får aldrig flyga i moln. Går man en tilläggsutbildning kallad NQ får man dessutom flyga på natten, men man måste fortfarande se marken. Med IFR-utbildning kan man flyga i vilket väder som helst, så länge flygplanet tillåter det. Trafikpiloter måste givetvis vara IFR-utbildade.

Förutsättningar

Den här artikelserien beskriver inte flygmekaniken, flygplanets olika delar eller grundprinciperna för flygnavigering eller meteorologi, såsom pitotrör, hektopascal, cumulunimbus, luftbromsar eller ILS-systemets funktion. Undertecknad ber att få återkomma till det senare. Här tittar vi bara på hanteringen av flygplanet och flygandet, själva glamourdelen av pilotjobbet, den del man ser på hollywoodfilm.

Instrumentbilderna är tagna vid en verklig flygning och återspeglar platser och data från denna, medan översikterna av instrumentpanelerna är standardbilder som kan visa helt andra variabler. Rutter och färdvägar från instrumentbilderna har samband med färdplaneringen i avsnitt 2.

FLYGINSTRUMENTEN

Grundförutsättningar

Det finns grovt räknat tre typer av instrument i cockpit: sådana som används aktivt under flygnigen för navigation (Instrumentpanelen), sådana som används vid start och landning för att ställa in olika grundparametrar (Central Stand, som navigationspanelen (CDU) som matas med flygrutten och sedan styr autopiloten), samt de kontroller som används mera sällan, som sitter i taket ovanför och bakom piloterna (Overhead Panel). Motorkontrollerna och trimreglagen (för att hålla planet rakt i luften utan att man behöver göra något särskilt) sitter på Central Stand mellan piloterna. De flesta instrument och paneler är dubblerade, med en för piloten och en för styrman.

Förr var alla flyginstrument helt mekaniska och kallades kärleksfullt för ”järninstrument”. Idag är de flesta sådana ersatta av bildskärmar, kallade ”glasinstrument”. Hela cockpit brukar därför kallas för en ”glascockpit”.

Swesíms simulator är utrustad är utformad att se ut som flygplanen som SAS opererar. PDF-erna som hör till den här artikeln kan avvika något.

Grön, gul och röd är tre viktiga färger som betyder samma sak på alla flyginstrument. Allt som lyser grönt eller indikeras som grönt ör ofarligt, allt som lyser gult är en varning och rött är ett rent elände och måste åtgärdas omedelbart (släck elden, flyg snabbare, flyg högre osv).

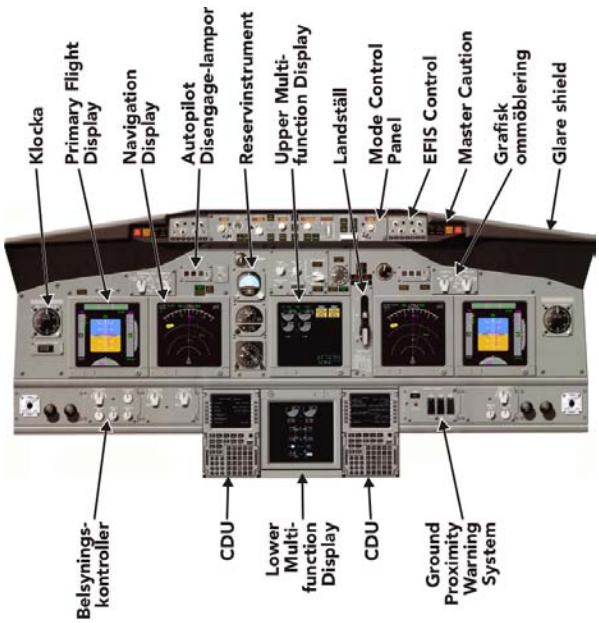
GPS intar en särställning. Det får inte användas vid navigering. En 737-a är icke desto mindre utrustad med två GPS-mottagare, men planet har också två lasergyron som ska användas för navigering. Man måste klara av att flyga efter karta och radiofyrar. De vanliga flyginstrumenten är synnerligen tillförlitliga, och det amerikanska försvaret kan stänga av GPS när de vill.

Autopiloten

Det som äventyrsböckerna kallar ”Autopiloten” är egentligen två skilda funktioner. Autopiloten är ett datorprogram som styr alla roder och därför kan flyga i höjd- såväl som sidled. Den är avsedd att automatiskt flyga planet enligt den rutt som matas in vid flygningens start. Autotrotteln styr motorvarvtalet genom att dra i de fysiska gashandtagen. När systemen styr, reagerar alla spakar och rattar i cockpit så som de skulle ha gjort om piloten utfört alla manövrer och piloten har händerna på regalgen för att känna att orderna verkligen utförs. Man kan flyga med autopilot och autotrottel, eller bara autopilot, men inte tvärt om.

INSTRUMENTPANELEN

Navigationsinstrumenten sitter mitt framför ögonen på piloterna.

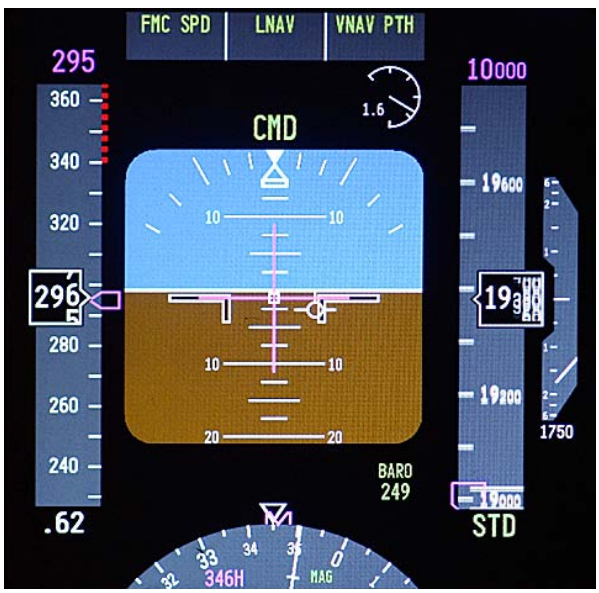


Här finns den detaljerade PDF:en av instrumentpanelen.
Illustration: Jet Flight & Instructor Training Ltd, www.jettraining.net

MELLANRAD

CHR TIME/DATE

Allra längst till vänster hittar vi en helt vanlig klocka som visar Zulu, alltså GMT-tid och datum, med tidtagarfunktion.



Primary Flight Display

Det viktigaste instrumentet är den blågula displayen kallad Primary Flight Display (PFD). Den vänstra, grå skalan (speed tape) visar luftfarten (indicated airspeed, IAS, direkt så som den visas av pitotröret) i knop eller Mach. Den röda markeringen intill överänden av speed tape anger att flygplanet inte klarar att flyga så fort. Motsvarande röd markering vid nederänden anger att det går för långsamt och att flygplanet kommer att stalla, dvs dyka rakt ned, en rörelse som inte går att häva så lätt. Det fyrkantiga färgade området kallas för konsthorisonten (artifical horizon) som visar flygplanets riktning mot marken (brun) eller upp i luften (blå). Gradskalan i konsthorisonten visa anfallsvinkeln (pitch). Det rosa korset i mitten kallas för flight director och anger riktningen dit man bör flyga, och det får sina order från den inprogrammerade rutten. De två mörkgrå vinklarna mitt i horisonten visar bank angle, alltså hur vingarna lutar. Längst ned visas en kompasskala (MAG, magnetisk kompassriktning eller gyrokompass). Höjdmätarskalan till höger (altitude tape) visar höjden i fot, baserat på lufttrycket. Under denna visas i grönt referensnivån i hektopascal, alltså barometerståndet vid marken (QNH, i detta fall 1019 hPa eller millibar, som man får mata in på ett annat ställe). Den halvrunda mätaren till höger om denna kallas variometer och anger stig- och sjunkhastighet.

Det här instrumentet är ett koncentrat av allt man behöver för att kunna flyga. Piloten kan med ett ögonkast försäkra sig om att allt är som det ska.

Navigation Display

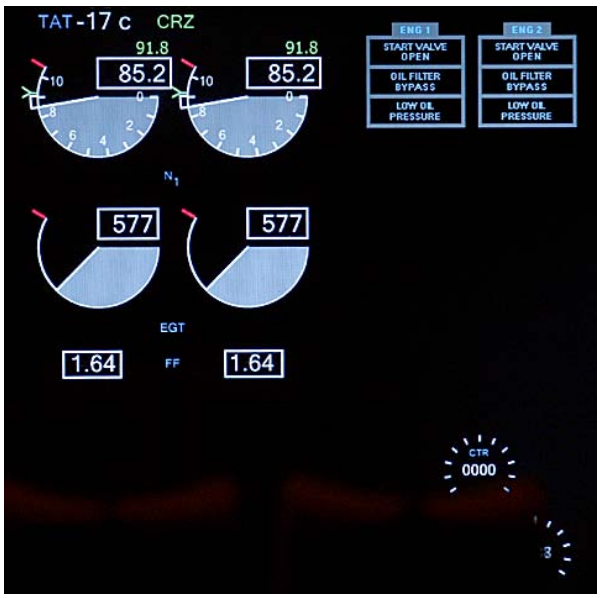
Den nästan svarta displayen visar färdvägen (och en hel massa annat som piloten kan välja in med de sju knapparna på EFIS-panelen ovanför, se nedan). Den visar normalt den inprogrammerade rutten, terrängens höjd över havsytan (grön terräng är ofarlig, gul är mitt framför nosen och röd är ovanför planet), olika radiofyrar (VOR, DME, NDB-fyrar mm), andra fiktiva platser i naturen, och avståndet till dessa. Displayen visar också bäringen, dvs vart vi är på väg, med det rosa strecket, i detta fall kurs 130 grader. En liten pil uppe till vänster visar vindriktningen och hastigheten, i detta fall 328 grader och 24 knop. GS betyder Ground Speed (fart över mark) och TAS betyder True Air Speed (verklig fart i förhållande till luften, en komplicerad beräkning som innefattar ljudets hastighet och omgivningstemperaturen) och de båda räknas i knop.

”Skylten ovanför PFD anger att flygplanet är kapabelt att göra precisionsinflygningar med instrumentlandningssystemet ILS”

Här är ND som den ser ut ungefär halvvägs mot Sundsvall. Vi flyger nästan norrut, kurs 351 grader och möts av en vind från 322 grader som blåser med 69 knop. Nästa brytpunkt är RUSUT på 4,5 nautiska mils avstånd. Vi kommer att vara där klockan 20.36,1 zulu (en tiondels timme = 6 minuter). T/D är en punkt vid vilken datorn anser att vi ska börja sjunka för att nå nästa förprogrammerade höjd. TERRain är påslagen (men det finns ingen terräng att visa just nu) liksom TFC som betyder Traffic, alltså TCAS-data (information om andra flygplan som har sin transponder påslagen). Navigationsmottagare VOR 1 lyssnar på Arlandas VOR med DME-funktion kallad ARL som finns på 76,3 NM avstånd. Mottagare 2 lyssnar på Sundsvalls VOR med DME-funktion kallad SUN som finns på 97,2 NM avstånd. Farten över marken är 396 knop och den sanna hastigheten genom luften är 458 knop (396+motvindens komposant i vår rikting).

Reservinstrument
Närmast till höger hittar vi tre reservinstrument, uppifrån ytterligare en konsthorisont, en höjdmätare med luftfart (IAS) (med samma attribut som i PFD) och en magnetisk kompass och ADF (som visar vägen till den inställda radiofyren). Dessa instrument, som i vissa flygplansmodeller är helt mekaniska, kan användas om datorerna skulle spöka. I Swesims fall är de implementerade elektroniskt och det är de även i moderna flygplan.

Multi Function Display eller Upper Display Unit eller EICAS 1
Displayen mitt på panelen sitter ovanför displayen på Central Stand och visar motorinstrumenten, eller olika systemparametrar för datorsystemen. Eftersom planet har två motorer, visas två identiska indikatorgrupper. Översta indikatorn visar varvtalet för lågtryckskompressorn analogt och digitalt, i procent av maxvarvtal. I detta fall 87,7%. Visaren under indikerar utloppstemperaturen (EGT) i grader Celsius och dessutom kan man ta fram en tabell med oljetryck, oljetemperatur, oljenivå och vibrationer. Längst nere till höger visas återstående bränsle i de tre tankarna i ton, samt en total.



Landing Gear
En spak som används till att sänka och lyfta landningsställen med.

Vidare åt höger följer samma system som beskrivits ovan, fast för styrmannen. Det rör sig om två helt åtskilda system, matade från två olika datorer. Skulle den ena krascha, kommer den andra fortfarande att fungera.

ÖVRE RAD

Låt oss nu gå en rad upp och börja ovanför Primary Flight Display.

CAT III
Skylten ovanför PFD anger att flygplanet är kapabelt att göra precisionsinflygningar med instrumentlandningssystemet ILS enligt kategori 3, dvs att man kan landa i tämligen dåligt väder, dock ej tjocka. Beslutshöjden, höjden då man måste besluta sig för att avbryta landningen och stiga igen, är 30 meter och man måste kunna se landningsbanan när man är på 200 meters avstånd från den. Är vädret sämre än så får man inte landa.

Main Panel DUs
Med dessa omkopplare kan man möblera om bland bildskärmarna om någon av dem skulle ha gått sönder eller en dator skulle ha kraschat. Skärmbilderna kan flyttas valfritt mellan alla skärmar. Dessa omkopplare står alltid i Normal.

Speedbrake arm och Speedbrake do not arm
Den gröna lampan lyser om luftbromsarna har kraft och kan fällas ut med avsedda parametrar och den gula lyser om de av någon anledning inte kan fällas ut. Det betyder inte att bromsklaffarna faktiskt är utfällda. I normalfallet ser man till att bromsarna är aktiverade innan man landrar och så snart hjulen tar i marken fälls de ut automatiskt.

A/P P/Rst, A/T P/Rst, FMC P/Rsi
Lamporna Autopilot, Autothrottle och Flight Management Computer indikerar funktionen hos de tre system som används under automatisk flygning. Lamporna kommer att blinka om datorerna känt av något fel i sagda system. Det kan också bero på att piloten dragit för hårt i spaken åt ett håll som autopiloten inte vill, varvid denna kommer att koppla ur och lämna över styrningen till piloten. P/Rst betyder Push to reset. Lamporna är viktiga och kan provas med brytaren Test.

Lights test
Lampprov för alla lampor i hela cockpit.

Yaw damper
Det finns ett otrevligt aerodynamiskt fenomen som kallas för Dutch roll som får flygplanet att åla sakta i sidled (gira) och får passagerarna att må illa. Det kan man kompensera för genom att styra emot med sidrodret, vilket sker med automatik. Denna indikator visar hur styrningen fortgår. Dämpfunktionen aktiveras på annat ställe.

N1 set
En layoutfunktion för att möblera om bland de elektroniska instrumenten, som används i nödfall.

Spd ref
Denna används i nödfall för att sätta referensfarter för start och landning. I normalfall görs detta i datorn via någon av de två CDU:erna.

Mfd
En styrfunktion för Multi Function Display som kopplar om mellan visning av motorparametrar och systemparametrar

Auto brake
Olika sätt för flygplanets automatiska bromsar att fungera. Läget Rto betyder Rejected Take-off (avrbuten start) om man måste bromsa så fort som möjligt. Lägena 1-2-3-Max anger hur hårt man vill bromsa vid landning, där läge 1 är normal bromsverkan, 2 eller 3 används vid våta eller snöiga banor, medan Max används i nödsituationer. Bromsar man manuellt genom att ställa sig på bromspedalen, tänds lampan Autobrake disarm. Normalt är alltid låsningsfria bromsar (Anti skid) aktiverade och går de sönder tänds lampan Antiskid inop.

Flaps
Den runda visartavlan Flaps guage anger hur mycket bakkantsklaff (trailing edge flaps) man har utfällt i avsikt att öka lyftförmågan vid start och landning. Lampan LE flaps transit (leading edge, alltså framkantsklaff) anger att klaffen är på väg ut, medan LE flaps ext anger att klaffen är fullt utfälld. Framkantsklaffarna har bara tre lägen, inne, ute och helt ute. En noggrannare visning av detta finns uppe på Overhead Panel (se nedan).

Nose gear, Left gear och Right gear
Lamporna anger läget för noshjulet och landställen under vänster och höger vinge. När grön lampa lyser är ställen nere och låsta och när röd lampa lyser är de i rörelse (och då är det mindre lämpligt att landa). När lamporna är släckta är ställen uppfällda och låsta.

Brake pressure
Visaren anger hydraultrycket i bromssystemet.

Speedbrakes extended
Lampan anger om luftbromsklaffarna är helt eller delvis utfällda. Denna lampa finns bara för styrmannen i högersätet, medan kaptenen kan se själva spaken.

Vidare åt höger följer samma system som beskrivits ovan, fast för styrmannen.

GLARE SHIELD

Låt oss nu gå vidare en rad längre upp, med panelen som sitter alldeles under vindrutan, den som på engelska kallas för Glare shield.

Det finns två kontroller längst till vänster på Swesims panel kallade Clock och Mic som inte finns med på PDF:en. Clock används för att starta tidtagaruret och Mic är sändarknappen. Den sitter också på sändarpanelen på Central Stand och på flygrattarna (som en skjuta-knapp).

Fire warning
Brandvarnare. Extremt viktig varning! Dessutom en ljudsignal, en Fire bell. Bell cutot betyder att man kan få tyst på tutan genom att trycka på knappen.

Master caution
Knappen lyser om det finns någon felsituation att ta hand om, som man normalt inte tittar på. Också extremt viktig varning! Push to reset betyder att man kan bekräfta felet genom att trycka på knappen.

Tolv fall kan indikeras, nämligen fel i:
- Flt cont (Flight Controls, styrsystemet)
- Irs (Inertial Refernce System, tröghetsnavigeringen, lasergyrona)
- Fuel (Bränsleproblem, glömt slå på en bränslepump?)
- Elec (Elsystemet)
- Apu (Auxilliary Power Unit, elgeneratorn)
- Ovht/Det (Overheat detection, brandvarning) på dis-

playen till vänster och Anti-ice (Avisningssystem för vingarna)
- Hyd (Hydraulik)
- Doors (Dörrarna kan vara öppna)
- Eng (Motorn kan vara överhettad eller vibrerar för mycket)
- Overhead (Felet ska sökas på Overhead Panel, som man normalt inte tittar på under flygning)
- Air cond (Luftkonditioneringen) till höger.
- Indikatorerna är uppdelade så för att respektive pilot sitter närmare respektive reglage för att åtgärda felen.

EFIS control
EFIS betyder Electronic Flight Indication System och på den lilla grå panelbiten med sju knappar längst ned kan man ange vad Navigation Display ska visa, allt för att hålla displayen så tom och ren som möjligt.

Överst finns två omkopplare och två knappar.
Omkopplaren märkt Radio, Mins, Baro har med planets höjdreferens att göra: Radio betyder radio-höjd, kallat height (höjd över terrängen), jfr altitude (höjd över havsytan). Med Mins ställer man in ett minimivärde på höjden, alltså den höjd man inte får sjunka under utan att se landningsbanan. Vid den höjden kommer en varning och ser man inte banan då, får man stiga igen och försöka en gång till. Baro anger barometrisk höjd, alltså altitude (höjden över havsytan). Knappen är tvådelad och den inre delen ändrar mellan Radio och Baro och den yttre ringen ställer in värdet. Knappen i mitten märkt Rst används för att nollställa minimivärdet.
- Knappen Fpv (Flight Path Vector) visar en indikator på PFD som anger flygplanets verkliga väg genom luften (som inte är samma sak som pitch, anfallsvinkeln).
- Knappen Mtrs lägger till en höjduppgift ovanför altitude tape i meter, för den som inte skulle gilla höjder i fot.
- Med VOR1-ADF1-OFF väljer man om man vill visa information från någon av navigeringsradioapparaterna (NAV1 eller ADF1) på ND.
- Knappen Ctr i mitten används för att få Center mode, alltså att slå om så att ND visas enligt den klassiska kompassros-modellen.
- Omkopplaren märkt 5, 10 ... 640 anger skalan på ND i nautiska mil.
- Knappen i mitten märkt Tfc används för att aktivera Traffic, TCAS (se delen om NDn högre upp i artikeln).
- Med VOR2-ADF2-OFF väljer man om man vill visa information från någon av de andra navigeringsradioapparaterna (NAV2 eller ADF2) på ND.

”Egentligen är det två autopiloter, A för vänsterstolen och B för högerstolen. Man kan flyga med bara den ena eller båda.”

Under dessa sitter de sju knapparna för Navigation Display:
- WXR (värderradar)
- STA (navigation stations, radiofyrar)
- WPT (waypoints, brytpunkt vid navigering)
- ARPT (airport, flygplats)
- DATA (data om punkterna längs färdvägen (beräknad höjd, samt tid för passage).)
- POS (vår position och en indikering av hur positionen utvunnits med bl a streck till alla fyrar som används)
- TERR (terräng, den simulerade terrängradarn som egentligen är en databas med terrängens höjd)
- Återstår så sex omkopplare och två knappar.
- Med Baro anger man om man vill ställa referenstrycket för marknivån i tum (In) eller hektopascal (Hpa). Knappen mitt i omkopplaren märkt Std matar in standardtrycket 1013 hPa.

Mode Control Panel
MCP är den långa grå panelen som används för att ge gränsvärden till autopiloten. Den sitter mitt mellan piloterna och är inte dubblerad.

Med Course ställer man in i vilken riktning man vill flyga kontra en radiofyr. Just den här bilden visar att vi vill flyga 130 grader åt höger från fyren. Den används inte när man flyger en inprogrammerad rutt. Knappen A/T Arm är till för att aktivera autotrottelfunktionen. I läge Off får man gasa manuellt.

Med Ias/Mach anger man hur fort man vill flyga i knop eller Mach-tal, farthållaren med andra ord.

Trycker man in någon av kapparna Vnav (vertical navigation) och Lnav (lateral navigation) medger man att autopiloten får hämta data från navigeringsdatorn och använda detta. Detta är normnalläget under större delen av flygningen eftersom datorn är betydligt mycket bättre på att hålla kursen än en människa.

Med Altitude anger man sin marschhöjd i fot. Detta värde samverkar med Vnav och är en sorts begränsning av autopilotens frihet. Ett typiskt tillfälle då man ställer in höjdvärdet är när man begärt en höjd och fått klartecken från flyglednigen att ändra höjd.

Med Vert speed anger man sin stig- eller sjunkhastighet i fot per minut. Down eller Up rattas med den tillhörande ratten.

Med A/P Engage anges om autopiloten ska aktiveras eller ej. Egentligen är det två autopiloter, A för vänsterstolen och B för högerstolen. Man kan flyga med bara den ena eller båda. Vid automatisk landning använder man båda för då vill man ha det så säkert som möjligt. Naturligtvis har en av dem prioritet, de bråkar inte om kontrollen. Prioritet har den som är master. Vilken som är master visas med den lilla lampan Ma ovanför knappen F/D. Båda piloterna har en sådan knapp och den som slår den till On först är den som blir Master eller Flight Director. Det blir till exempel dennes kurs som ställts in med kontrollen Course som gäller, se ovan. Flyger man med båda autopiloterna och den ena går sönder tar den

andra automatiskt över. Hade man bara haft den ena autopiloten aktiverad och denna gått sönder, tvingas man flyga manuellt, eller koppla in den andra.

BOTTENRADEN

Den allra nedersta panelen bjuder inte på några särskilda godbitar. Det är mest inställning av ljusstyrkan på instrumenten och lamporna. Men vi ska titta på en delpanel kallad Ground Proximity.

Ground Proximity
Ground Proximty Warning System (GPWS) är det system som varnar om man flyger för sakta, flyger för lågt, flyger mot terräng och liknande. Det är det här systemet som lämnar talade varningsmeddelanden till piloterna, som ”Pull up! Pull up!” och så vidare och trycker man på knappen Sys test får man höra alla meddelanden. Dessa funktioner kan stängas av, men brytarna har beröringsskydd så man inte ska kunna slå om dem av misstag. Med Flap inhibit får man ingen varning (”Too low! Flap!”) om man närmar sig landningsbanan och inte har fällt ut klaffarna. Klaffarna kan till exempel ha gått sönder och under en nödlandning kan piloten välja att inte bli störd av den tjatiga rösten. Med Gear inhibit får man ingen vanring om man försöker landa utan att landställen är bekräftat ute. Om indikeringen är trasig men man gjort en förbiflygning och tornet kan bekräfta att ställen är nere kan man landa med Gear inhibit. Med Terrain inhibit kan man flyga nära hotande terräng utan att få en varning. Det är dock tämligen ovanligt att man stänger av denna funktion.

Lyser lampan GPWS Inop bör man inte flyga alls eftersom den anger att GPWS är trasigt.

BILDSKÄRMARNA NEDERST I MITTEN

I mitten av den nedersta raden på denna bild sitter tre bildskärmar som egentligen hör till Central Stand.

Computer Display Unit
Det är två likadana CDU:er med tangentbord, som är människa-maskingränssnittet mot Flight Management Computer. Programmering av en CDU kräver en särskild veckokurs hos flygbolaget och vi ska inte gå in närmare på detta, utöver att nämna själva huvudfunktionen. Man kan mata in rutten som flygplanet sedan ska styra efter och man kan mata in olika viktvärden så datorn vet hur tungt flygplanet är, och kan flyga därefter.

Man kan ju fråga sig varför bokstavstangenterna är anordnade alfabetiskt och inte QWERTY som hela världen, utom piloter, är vana vid.

Multi Function Display eller Lower Display Unit eller EICAS 2

Skärmen i mitten kallas Lower DU (jämför Upper DU) och kan visa motor- eller systeminstrument. De båda skärmarna, lower och upper, kan ersätta varandra och den nedre skärmen kan mörkas helt. Skärmen kommer automatiskt att tändas om ett fel uppstår, för att påkalla uppmärksamhet.

CENTRAL STAND

Här finns den detaljerade PDF:en av Central Stand. Illustration: Jet Flight & Instructor Training Ltd, www.jettraining.net

Överst på denna panel finns Throttle Quadrant som är en samling reglage för gaspådrag, broms och trimning. Här finner man två gaspådrag, märkta 1 och 2 och A/T Disengage. Autotrotteln drar i handtagen med servomotorer, men tar man tag i dem och drar själv kommer autotrotteln att kopplas ur, varvid lampan A/P P/Rst kommer att börja blinka på instrumentpanelen. Dra dem framåt för att öka pådraget. Längre fram finns två handtag för reversering, även de märkta 1 och 2 som fäller in en reverseringsklaff i vägen för utblåset och tvingar detta framåt. Längre bak finner vi Engine Start Levers, även de märkta 1 och 2 som är bränslekranar. Bränslet är avstängt i läge Cutoff och kranen är öppen i läge Idle. Har man till exempel en motorbrand är det lämpligt att vrida av soppakranen.

Till vänster finner vi handtaget märkt Speed brake (luftbroms) som är klaffar som fälls ut på vingens ovansida. Den har ett Armed-läge i vilket den kan aktiveras automatiskt då hjulen tar i marken. I läget Down är spaken fysiskt låst och klaffarna kan inte fällas ut. Drar man den baköver fälls klaffarna ut allt mer, ända till Up då de är fullt ute och bromsverkan maximal. Normalläget vid bromsning är Flight detent som ger normal bromsverkan.

Det högra reglaget märkt Flap ställer läget för fram- och bakkantsklaffarna. Vid noll är klaffarna helt infällda i vingen och vid 40 är de fullt utfällda. Det verkliga läget visas på instrumentet Flaps på instrumentpanelens övre rad.

De två stora, svarta rattarna på panelens utsidor kallas för trimhjul (Stabilizer trim) som ställer in höjdrodren så att flygplanet ska ligga horisontellt i luften vid planflykt. Man rör dem sällan manuellt utan det är autopiloten som rullar dem framåt och bakåt automatiskt. Skulle automatfunktionen gå sönder kan man fälla ut ett handtag och veva rodren manuellt. Med de två brytarna Stab trim kan man i läge Cut out stänga av autopilotens förmåga att trimma höjdrodren.

Drar man i spaken Parking brake pull aktiveras naturligt nog parkeringsbromsen och när så är fallet tänds även lampan Park brake light så man slipper undra över varför det tar emot när pushback-traktorn ska försöka backa ut planet på taxibanan.

Under Throttle Quadrant finner vi en panel med tre stora, röda knappar: Brandpanelen (Fire Panel). Den visar varningssignaler om brand från de tre motorerna, alltså drivmotorerna 1 och 2 och APU, den lilla jetmotor som används som elgenerator på marken. Överhettning i respektive motor visas med lampan Eng overheat. Lampan Wheel well visar om det är brand i hjulhusen, vilket kan inträffa om man bromsar väldigt kraftigt.

Brandsläckningen sker i två steg. När man drar ut lämplig röd knapp, stängs all hydraulik och bränsletillförsel av. Skulle det inte hjälpa måste man vrida den röda knappen åt vänster eller höger, varvid man släpper ut (discharge) släckningsvätska ur en eller flera flaskor (bottle). Huvudmotorerna har två flaskor vardera och APU:n en. När man använt dem är det slut och då får man hitta på något annat. Mitt under brandpanelen finns en mindre brandpanel som hanterar brand i lastutrymmet (Cargo). Samma sak där. Man sprutar ut släckvätska med knapen Discharge.

Till vänster (och höger) under brandpanelen sitter radioapparaterna. Radion märkt Comm är kommunikationsradion, medan radion märkt Nav används för att ta emot navigationssignaler. Båda tjänsterna finns på flygradiobandet 108-136 MHz, där 108-118 används för navigation och 118-136 används för talkommunikation. Varje radio har två inställbara frekvenser för att man ska kunna förbereda sig för att snabbt kunna byta frekvens (markfrekvens, tornfrekvens, flygledning) och man växlar mellan frekvenserna med knappen Tfr. Under denna kan vissa flygbolag välja att montera en ADF-mottagare för rundstrålande NDB-fyrar. Dessa sänder på långvågen, mellan 190 – 535 kHz. ADF är emellertid på väg bort inom kommersiell flygtrafik. Ytterligare en transceiver kan finnas, som brukar kallas VHF 3, som används för automatisk datatrafik, sk ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) på 136 MHz. Det kan röra sig om underhållsmeddelanden till flygbolaget, eller meteorologiska rapporter.

Själva radiotranscievrarna sitter inte i Central Stand utan finns i ett utrymme mitt i flygplanet, under ”magen”, där även FMC:erna sitter.

Under radiopanelerna finns ljudkontrollpanelen (Audio Control Panel) där man med brytarna Mic selector väljer vilken ljudkanal man vill höra i hörlurarna. Mic anger egentligen att man väljer vilken kanal man kommer att sända på när man trycker in sändknappen. VHF 1-2-3 anger att man har tre VHF-sändare att välja på för talkommunikation, HF är kanalen för kortvågskommunikation som är enda möjligheten till kommunikation ute över världshaven, Flt Int (flight interphone) används om man vill prata med markpersonalen genom navelsträngen de ansluter i planets nos, Serv Int (service interphone) används för att prata med kabinpersonalen, PA (public announcement) om man vill tala med passagerarna igenom högtalarsystemet. Knapparna i undre raden medger lyssning på navigeringskanalerna (Nav) och ILS-markörer (Mkr, vilket man nmormat inte gör, för detta syns på ND). När man står på marken och inte har hörlurar på sig kan det vara bra att mata ut allt ljud i högtalaren i cockpit (Spkr).

Väderradarn hanteras med panelen Wx radar. Själva radarbilden visas som en overlay på Navigation Display. Med Gain ställer man förstärkningen i radarmottagaren och med kontrollen Tilt anger man om antennen ska svepa uppåt eller nedåt.

Under denna sitter radartranspondern som svarar på sekundärradarpulser och lämnar planets anropssignal och höjd till flygledningen. På displayen ställer man in den fyrsiffriga transponderkod (Sqawk code) man får sig tilldelad av flygledningen. Transpondern har fyra olika aktivitetslägen. Off används inte, och i läge Stby gör den inget alls. Alt off anger att höjden inte rapporteras, vilket är funktionen hos en Mode-A-transponder (detta kan

flygledarna kan begära om höjdmätaren skulle råka vara trasig). Alt on, eller i vissa installationer Xpndr, anger att höjden och positionen rapporteras vilket är funktionen hos en Mode-C-transponder. Ta (traffic advisory) är en inställning för vår egen TCAS-funktion om att den ska rapportera andra flygplans transpondersvar och visa oss flygplanens positioner på vår ND. Ta/Ra (traffic advisory / resolution advisory) innebär att datorerna i två flygplan på kollisionskurs samtalar med varandra och kommer överens om hur piloterna ska styra för att undvika kollision, vilket är funktionen hos en Mode-S-transponder. Om det ena flygplanet meddelar att det tänker stiga, kommer det andra att föreslå för piloten att sjunka. Kommunikationen försiggår med fråge- och svarspulser på samma sätt som sekundärradarn. Förslaget visas på PFD och markerar de områden på konsthorisont samt variometer som man skall undvika för att på så sätt öka avståndet till faran. Skulle det vara något fel på systemet lyser lampan Atc fail.

Planets transpondersystem kan även användas för att förmedla annan information. Det finns tre koder: 7500 - kapning, 7600 - radio- eller kommunikationshaveri och 7700 som betyder akut nödsituation eller haveri.

Läs mer om sekundärradar här: http://www.idg.se/2.1085/1.91378

Sidrodret kan trimmas med kontrollen Rudder, beroende på om man vill väga av nosen åt vänster eller höger. Gällande trimläge visas på mätaren Rudder trim. Ett tillfälle då detta kan bli aktuellt är om man stängt av en motor. Då måste man kompensera med rodret för att inte behöva sitta och styra emot med ratten hela tiden.

Med Aileron kan man trimma skevrodren för att kompensera för sned viktfördelning eller om exempelvis en klaff har fastnat i utfällt läge på en vinge.

Selcal-systemet används för att ta emot tonselektivsignaler över radion. Varje flygplan har sina egna tonkoder och med de fem knapparna VHF 1-2-3 och HF 1-2 kan man välja vilken kanal man vill lyssna efter tonselektivanrop. När selektivanropet tas emot hörs ett ”pling” i lurarna.

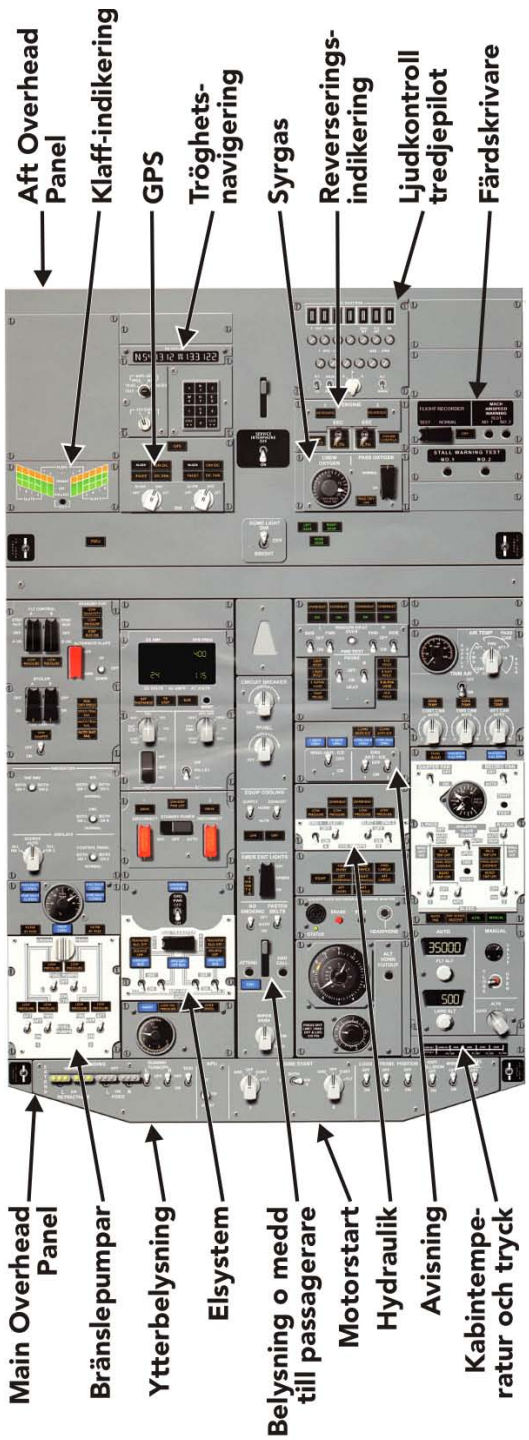
Vissa flygbolag monterar en skrivare i planet (Data printer) som kan användas till att skriva ut driftdata, farter, kurser, load sheet osv.

Flt dk door

Allra längst ned i högerhörnet finns en kontroll som tillkommit efter 9/11-händelsen i USA. Flygbolagen monterade då skottsäkra, låsbara dörrar till cockpit, så kallade ”bin Ladin-dörrar” (Flight deck door). Dörren kan låsas eller låsas upp, och man kan få en varning om dörrlåset inte fungerar.

”Med Aileron kan man trimma skevrodren för att kompensera för sned viktfördelning”

OVERHEAD PANEL



Här finns den detaljerade PDF:en av Overhead Panel.
Illustration: Jet Flight & Instructor Training Ltd, www.jettraining.net

Panelen ovanför piloternas huvuden sitter där den sitter för att den används ganska sällan under flygningen. Den är dessutom delad i två delar, Aft Overhead, som är bakom piloternas huvuden och Main Overhead som är den främre delen. Det mesta med denna panel gör man när planet står på marken.

Aft Overhead Panel
Börjar man uppifrån till vänster på Aft Overhead Panel stöter man först på en grupp navigeringshjälpmedel.

INS Display visar positionen så som den anges av tröghetsnavigeringssystemet ombord (Inertial navigation system). IRS-panelen under visas status för planets två GPS-mottagare och med knapparna Align kan man mata in GPS-positionen som ny referens till tröghetsnavigeringen. Notera, som redan sagt, att GPS inte får användas som navigeringshjälpmedel, men tydligen kan man göra det under den sekund man flyttar GPS-positionen till det lasergyrona.

I nedre vänstra hörnet sys displayen Flaps och Slats som visar hur mycket vingklaffarna är utfällda och om de är i rörelse. Detta är en noggrannare visnig än den på instrumentpanelen, eftersom man här har individuella indikatorer för alla klaff-element.

Överst till höger finns en annan grupp som börjar med ytterligare en Mic Selector som är tredjepilotens möjlighet att välja ljudkanal. Om någon sitter på klaffstolen bakom piloterna har denne också hörlurar på sig.

Därnäst följer indikatorer för Engine Reverser som visar om reverseringen är aktiv eller ej. EEC visar status för motorstyrdatorn. EEC är Boeings benämning på FADEC (Full Authority Digital Engine Control).

Mätaren Crew Oxygen anger trycket i syrgasflaskan som är avsedd för piloterna, medan brytaren Pass oxygen anger om syrgasen till passagerarna ska flöda automatiskt vid sänkt kabintryck eller om den ska tvingas på och maskerna ska fällas ned. Passagerarnas syre kommer inte från flaskor utan från en så kallad syrgasgenerator eller syrgasfackla bestående av en blandning av 94% natriumklorat (NaClO3, ”Klorex”), 5% bariumperoxid (BaO2) och 1% kaliumperklorat (KClO4), i princip sprängämnen alltihop. Reaktionen startas av en tändhatt när passageraren rycker åt sig syrgasmasken och den exoterma reaktionen där natriumklorat faller sönder i syre och natriumklorid skapar syre i cirka 20 minuter. Ingenting antänds alltså, men behållaren kan bli väldigt varm.

Flight Recorder är den ”svarta lådan” som egentligen är orange och sitter baktill i planet och spelar in allt som händer. Färdskrivaren slås på när man får hydraultryck, men den kan testas innan dess med hjälp av test-läget.

Därnäst möjligheten att testa två varningar: Mach airspeed warning är ett tutljud som varnar om det går för fort och Stall warning skakar på styrspaken (stick shaker) om det går för långsamt i förhållande till anfallsvinkeln. Dessa båda är väldigt ljudliga och det är lämpligt att prova dem eftersom en utebliven varning kan bli ödesdiger.

Men brytaren Service Interphone kan man stänga av snabbtelefonen till markpersonalen. Brytaren Dome light är helt enkelt lysknappen för takbelysningen i cockpit.

Lamporna Left gear, Right gear och Nose gear visar om landställen är ute, på samma sätt som kontrollamporna på instrumentpanelen.

MAIN OVERHEAD PANEL

Vi tar oss igen om Main Overhead panel kolumnvis, från vänster till höger.

Kolumn 1
Med Flt Control kan man koppla om och motverka fel på styrsystemet, medan Spoiler stänger av spoilern (luftbroms ovanpå vingen) vid problem med systemet. Dessa två rör man normalt inte. Standby Hyd visar status för reservsystemet för hydrauliken. Alternate flaps är ett sätt att fälla ut klaffen med hjälp av en elmotor, som ersättning om hydraulsystemet skulle sluta fungera. Yaw damper är kontrollen som får flygplanet att sluta åla i luften. Funktionen aktiveras här, men visas på instrumentpanelen (se ovan).

Med brytarna på panelen Navigation kan man välja om ena eller båda navigationsmottagarna ska mata navigationssystemet, om ena eller båda lasergyrona (IRS) ska mata systemet och om ena eller båda Flight Management Comnputers (FMC) ska användas. Displays Source väljer vilken grafikgenerator som ska skapa bilderna på bildskärmarna i cockpit. Om en av generatorerna går sönder kan den andra generatorn skapa bilderna åt båda piloterna. Om den ena instrumentpanelen skulle gå sönder rent fysiskt kan man med brytaren Control panel välja att den andre piloten styr båda kontrollpanelerna från sin panel.

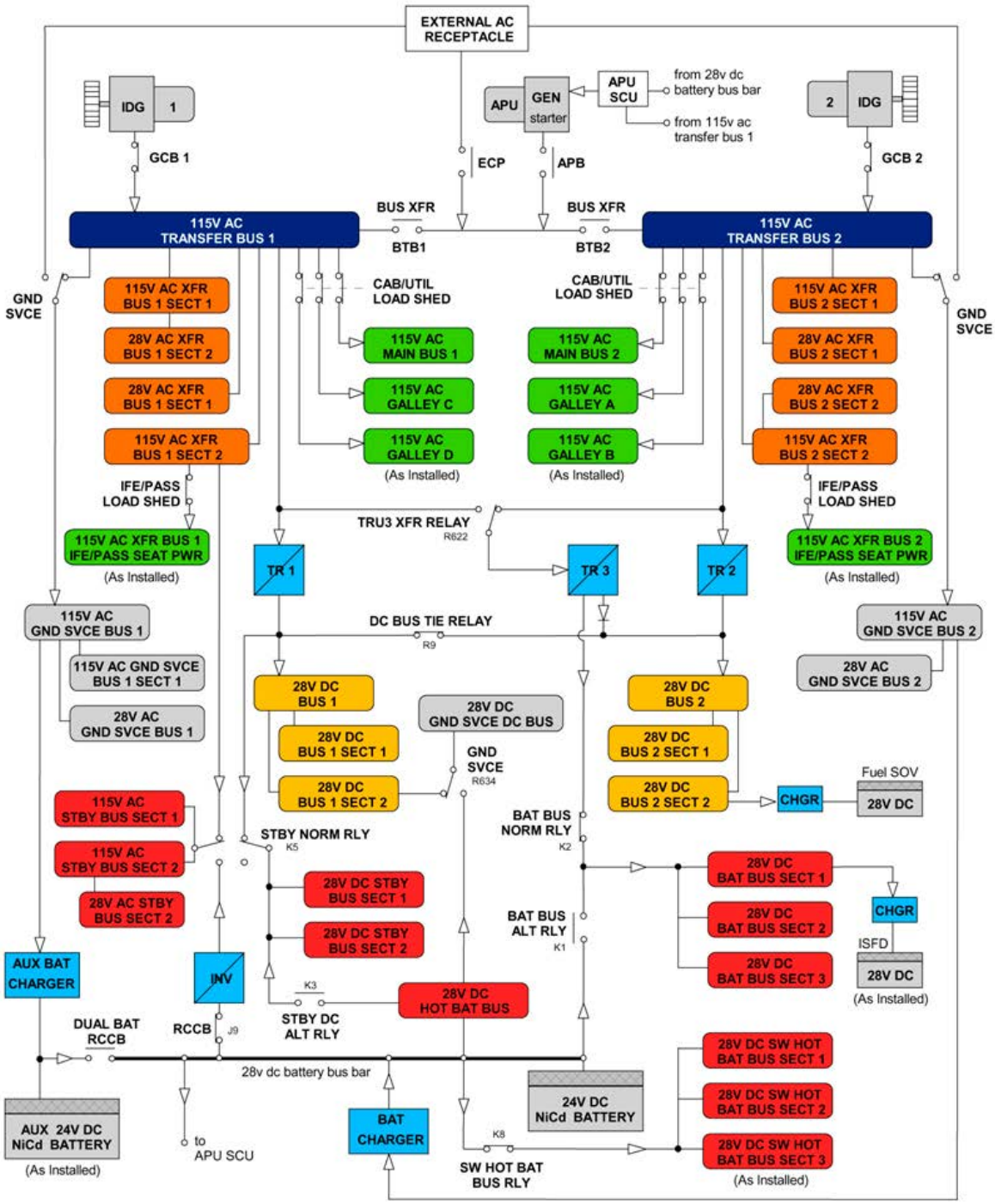
Nästa panelbit befattar sig med bränslesystemet. Fuel temp visar bränsletemperaturen i vingtankarna. Det kan bli väldigt kallt däruppe. Det finns inget sätt att värma upp bränslet om det skulle bli för kallt, utan man får vackert sjunka till en lägre höjd.

Den vita panelen Fuel pumps används för att välja främre (fwd) eller bakre (aft) bränslepumpar i vingarna. Ovanför dessa brytare syns brytarna Fuel pumps L - R som gör samma sak med vänster- och högerpumparna för mittentanken (som ligger i flygkroppen mellan vingarna). Normalt sett matar vänster system vänster motor och höger system höger motor, men skulle exempelvis

”Notera att det inte finns något sätt att dumpa bränsle från tankarna. Man få flyga slut på det.”

pumparna i vänster system gå sönder, kan man öppna Cross feed och mata vänster motor från höger system. Notera att det inte finns något sätt att dumpa bränsle från tankarna. Man få flyga slut på det.

Kolumn 2
Kolumn 2 används för hantering av elsystemet.



Elschemat i blockformat.

Panelen DC / AC ger de viktigaste parametrarna för elsystemet. Displayen visar spänningar och strömmar i systemet. Batterispänningen är 24 volt och den växelspänning som används överallt i planet är 115 volt och 400 Hz. Man använde ursprungligen 400 Hz växelspänning i både flyg och rymdfart eftersom det ger mindre transformatorkärnor än för 50 Hz. Med omkopplaren till vänster väljer man vilken likspänningskälla som ska visas på displayen och med omkopplaren till höger kan man mäta på olika växelströmskällor, exempelvis markströmmen (Gnd pwr), om man tvivlar på den. De båda röda brytarna vid Standby power märkta Disconnect kopplar fysiskt bort generatorerna från huvudmotorerna. Funktionen drar ur generatoraxeln, helt enkelt, och detta går inte att ångra. Det är därför handtagen är röda. Det kan användas om generatorerna exempelvis skulle skära ihop.

Grd pwr används för att koppla in markströmmen.
Den vita panelen märkt Bus transfer används för att koppla in eller ur, eller korskoppla planets olika elgeneratorer. Det finns en generator i varje huvudmotor (Gen 1 och Gen 2) och två i APU (Apu Gen). Det går alltså bra att koppla bort alla generatorer. Då växlar planet över till batteridrift. Stänger man av den också, med brytaren Bat on - off ovan, blir det helt svart. Det ska man försöka undvika under flygning.

Visaren EGT visar förbränningsgasernas utgångstemperatur i APUn i hundratals grader Celsius.

Kolumn 3
Med vreden Circuit breaker och Panel kan man ställa bakgrundsbelysningen på olika paneler i cockpit.

Brytarna Equip Cooling hanterar kylfläktarna till olika delar av utrustningen.

Med brytaren Emer exit lights kan man tända nödutgångsbelysningen i kabinen och det gröna ledljuset längs golvet.

Brytarna No smoking och Fasten belts tänder och släcker dessa välkända lampor i kabinen, även om No smoking numera alltid är på. Med knappen Attend kan man ringa efter kaffe och med Ground call kan man påkalla markpersonalens uppmärksamhet om man vill ha kontakt via headset-anslutningen i nosen.

Omkopplaren Wiper ställer hastigheten på vindrutetorkarna.

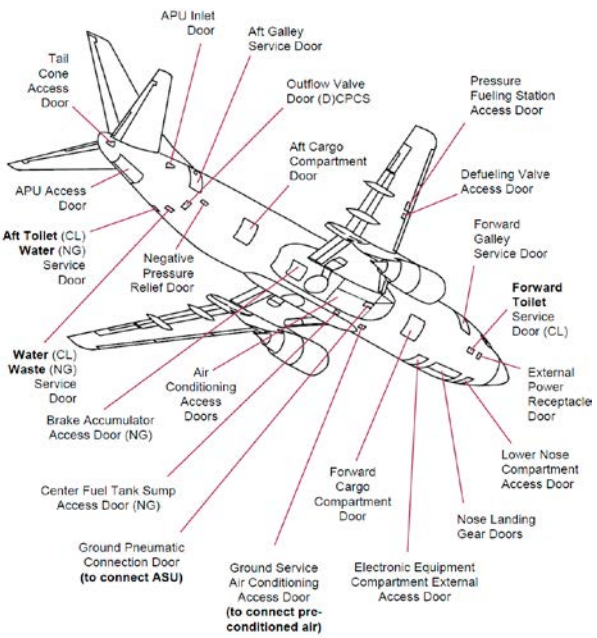
Kolumn 4
Kolumn 4 handlar åtminstone till en början mest om is och temperaturer.

Med brytarna Window heat kan man värma upp vindrutorna, inte så mycket för avisningens skull utan för att mjuka upp glaset så det tål en fågelkollision. En underkyld vidruta klarar inte en flygande kalkon, medan en mjukare ruta är mera spänstig. Med brytarna Probe heat A och B styr man uppvärmningen av pilotens, respektive styrmans pitotrör (pitot), höjdmätarinlopp (elev), anfallsvinkelmätare (alpha vane) och yttertemperaturmätare (temp). Det är viktigt att man värmer pitotröret. Om det skulle fyllas igen av is förlorar man hastighetsmätningen. Det har Air France redan provat.

Wing anti-ice används för att förhindra isbildning på vingen, ett värmesystem som tar varm överloppsluft från motorn. Eng anti-ice gör samma sak för motorernas inlopp.

Hydraulsystemets pumpar (Hyd pumps) kommer härnäst. på den vita panelen. Det finns två pumpar vid varje huvudmotor, en motordriven (Eng) och en eldriven (Elec).

Nio lampor märkta Fwd entry, Fwd service, Fwd cargo etc anger om någon av planets dörrar är öppna. Här kan det vara lämpligt att känna till vilka dörrar och andra öppningar planet har.



Cockpit voice recorder microphone monitor är en kontrollpanel för en av färdskrivarens ljudkanaler, som spelar in allt ljud i cockpit. Den ska spela in alla varningsljud som förhoppningsvis avges i cockpit under flygning, men även all konversation på marken.

Mätarna Diff press och Cabin climb hör samman med panelen till höger (Flt alt, Land alt) och anger kabintrycket och differensen mot atmosfärstrycket. Se vidare beskrivningen för kolumn 5. Diff press visar skillnaden mellan inner- och yttertrycket och Cabin climb visar var tryckskillnaden är på väg, ungefär som variometern visar trenden i stigning och sjunkning.

Kolumn 5
Kolumn 5 hanterar huvudsakligen luftkonditionering och kabintryck.

Omkopplaren Air temp visar temperaturen i luftkonditioneringens olika delar, på visarinstrumentet till vänster. Supply duct är temperaturen i tilloppsrören, Pass cab är temperaturen i kabinen och Pack anger tempera-

turen i vänster och höger värmeväxlare. Med brytaren Trim air kan man ta luft från överströmningen (”trim” eller ”bleed”) i jetmotorerna och driva in denna i luftkonditioneringen. De tre vreden längst ned an vänds för att ställa in temperaturen i flygplanets olika utrymmen.

Den vita panelen Bleed används till att tappa av överloppsluft (”to bleed the engine”) från motorn för att använda i luftkonditioneringen. Med denna panel kan man nedifrån välja in varmluft från motorerna 1, 2 och APU och mata till avisningen av vingarna (wing anti-ice) och till värmeväxlarna (L och R Pack) och även korskoppla systemen (isolation valve) om ett av dem skulle vara trasigt. Recirc fan är en fläkt som återcirkulerar luft i passagerarkabinen, medan Gasper fan är den fläkt som matar luft direkt till passagerarnas luftmunstycken. Den användas för att blåsa luft till passagerarna när planet är i luften, men kan stängas av under start och landnig när man inte vill slösa bleed-luft ur motorerna på luftkonditionering utan istället vill ha maximal dragkraft.

Flt alt och Land alt är inställningar för hur kabintrycket ska variera med flyghöjden. Flygplanet har tryckkabin, vilket betyder att lufttrycket i kabinen aldrig kan sjunka under ett visst värde, även om atmosfärstrycket på 35.000 fot bara är cirka 10% av trycket vid havsytan. Vid denna höjd klarar man bara en minut innan man blir medvetslös. På mätaren Flt alt ställer man in flyghöjden så att tryckkabinsystemet kan ställa in motsvarande lägsta kabintryck och på mätaren Land alt ställer man motsvarande tryck för landningen så att systemet kan utjämna inner- och yttertrycken snyggt.

Omkopplaren Auto-Altn-Man är en farlig kontroll, eftersom man kan öppna en förbindelse till atmosfärstrycket och åsidosätta tryckkabinen. Den ska stå i läge Auto, men skulle man glömma slå om den från Man före start, gäller istället brytaren Manual Valve Open ovanför. (Därför finns en kontroll av denna omkopplare med i checklistan, efter den olycksaliga grekiska Helios Airways Flight 522 år 2005 där piloterna svimmade och planet störtade då omkopplaren stod kvar i Man efter att tekniker trycktestat kabinen före flygning. Piloterna fick en varning om lågt kabintryck vid 12000 fot, men ignorerade denna. Vid 18000 fot fälldes syrgasmaskerna ut, men även detta och andra varningar, såsom Master caution (ovan) ignorerades av piloterna.) Allra nederst på panelen sitter en skylt med de kabintryck som ska gälla vid olika flygnivåer. Lägre än trycket vid 8000 fot kan kabintrycket aldrig bli.

NEDRE PANELEN

Den nedersta panelbiten befattar sig huvudsakligen med olika sorters belysning. Vi börjar vänster ifrån.

Med brytarna Landing kan man tända landningsstrålkastarna under vingarna. Brytaren Runway turnoff tänder sidostrålkastare, lite likt dimljusen på bilen som på moderna bilar tänds när man svänger. Taxi är en strålkastare riktad nedåt och rakt fram, så man ska se var man kör på marken (taxar).

”Wing är belysningen på vingen som oftast används vid inspektioner för att se om det finns is.”

Brytaren Apu start används för att starta Auxilliary Power Unit, alltså den lilla jetmotor som sitter i planets stjärt och ger ström när planet står stilla med huvudmotorerna avstängda, vid de tillfällen det inte är kopplat till markström.

Vad Engine start är till för är kanske uppenbart. Omkopplaren har följande fyra funktioner: Grd (Ground Start) ett läge som öppnar ventiler och startar motorn. Detta används alltid vid motorstart på marken. Off är normalläget, då ingen startfunktion är aktiverad. Cont (Continuous) används vid start och landning och vid motoravisning. Då används tändstiften hela tiden i motorn ifall man skulle få en s.k flame-out. Flt (Flight) används vid extrema väderförhållanden (snö, regn) eller om man måste starta om en stoppad motor på låg höjd. Motorerna har dubbla tändsystem (Ign L och Ign R), och normalt använder man båda (Both).

Härefter följer sex brytare för olika strålkastare på planets utsida. Logo är belysningen på flygbolagets logotyp på stjärtrodret. Strobe är rött blixtljus över och under flygplanskroppen avsett att varna alla om att flygplanet har motorerna igång. Position är de röda och gröna lanternorna i vingspetsarna. Anti collision är det vita blixtljuset under planet. Wing är belysningen på vingen som oftast används vid inspektioner för att se om det finns is. Wheel well är belysningen i hjulhusen, som kan behövas vid serviceingripanden på natten.

LÄS MER

Swesim: www.swesim.se
Om Swesims Boeing 737: www.swesim.se/proj_b737.php
Om Boeing 737: http://en.wikipedia.org/wiki/737-800
Grundinstrumentering: http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_instruments
EFIS, Elektroniska flyginstrument: http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_flight_instrument_system
Vikt och balansberäkningar med Topcat: www.topcatsim.com
Ruttplanering med vRoute: www.vroute.net
Luftfartsverket: www.lfv.se
Färdplaner lämnas in på: http://www.lfv.se/sv/FPC/
Handboken IAIP finns på:http://www.lfv.se/sv/FPC/IAIP/
Flygspårning: sv.flightaware.com, www.flightradar24.com
VATSIM, flygledning på Internet: www.vatsim.net
Flygspårning på VATSIM: vataware.com
Om flygledning och flygspråk: Back in the A.T.C.C. Nätverk & Kommunikation 2006-12
Om sekundärradar: http://www.idg.se/2.1085/1.91378
ICAO: http://en.wikipedia.org/wiki/ICAO_airport_code
IATA: http://en.wikipedia.org/wiki/IATA_airport_code

ORDLISTA

A/P: Autopilot
A/T: Autothrottle, automatiskt gasreglage, del av autopiloten
ADF: Automatic direction finder, instrument som visar riktning till VOR, NDB etc
AIP: Aeronautical information publication, en faktasamling med information för luftfarten om flygplatser mm.
APU: Auxilliary power unit, liten jetmotor längst bak i planet som bara används som elgenerator och för att blåsa igång huvudmotorerna
ARR: Arrival, ankomsttid
ATIS: Automatic terminal information service, automatiskt vädermeddelande som sänds ut från en flygplats på radio
BARO: Barometriskt lufttryck
CAVOK: Ceiling and visibility OK, klart väder, god sikt.
CDU: Computer display unit, gränssnitt mot FMC
DEP: Departure, avgångstid
DME: Distance measuring equipment, en radiofyr man kan navigera mot och också mäta avståndet till
EFIS: Electronic flight indication system, de elektroniska flyginstrumenten
EGT: Exhaust gas temperature, jetstrålens utgångstemperatur
EICAS: Engine indicating and crew alerting system, bildskärmarna för motor- och systemdata, kallas även MFD
ETA: Estimated time of arrival, uppskattad ankomsttid
FMC Flight management computer, navigeringsdatorn
G/S: Glide slope, glidbanan vid landning
GP: Glide path, samma som G/S
GPS: Global positioning system
GS: Ground speed, farten över marken
IAS: Indicated airspeed, den hastighet gentemot luften som utvinns direkt ur pitotröret, se TAS
IFR: Instrument flight rules, instrumentflygutbildning, där man inte behöver kunna se marken
ILS: Instrument landing system
MCC: Multi crew cooperation, kurs i samverkan mellan två piloter
METAR: METeorological Aerodrome Report, en lista med väderobservationer vid olika flygplatser
MFD: Multi Function Display, bildskärmarna för motor- och systemdata, kallas även EICAS
MSL: Man sea level, havsytans medelnivå
NDB: Non directional broadcast, en äldre typ av radiofyr som man bara kan veta riktningen till. Ett åldrigt hjälpmedel som håller på att försvinna. NDB-fyrarna (Non-Directional Broadcast) som sänder på långvågen är inte längre ett krav i alla länder. Många moderna flygplan har inte längre någon NDB-mottagare, men för svenska privatflygare är en sådan mottagare fortfarande ett krav. En del fyrar har dock redan försvunnit även i Sverige.
NM: Nautiska mil
NQ: Night qualification, pilotutbildning för nattflygning så man ser marken, tillägg till VFR
PFD: Primary flight display, huvudflyginstrumentet
QNH: (QNHelge) lufttrycket vid marken. Morsekoden för lufttrycket, användes väldigt tidigt i flyghistorien
TAF: Terminal aerodrome forecast, flygplatsväderprognos
TAS: True airspeed, sann, beräknad hastighet gentemot luften vilken kräver invecklade beräkningar
TCAS: Traffic collision avoidance system, ett kollisionsvarningssystem baserat på transpondersvar
VFR: Visual flight rules, pilotutbildning för flygning så man ser marken, normalt för privatflygplanspiloter
VOR: VHF omnidirectional range, en radiofyr man kan navigera mot
FL: Flight level, flyghöjden i fot delat med 100
SID: Standard instrument departure: utflygningsväg
STAR: Standard approach route, inflygningsväg
V1-fart: Farten då man måste lyfta eftersom planet annars inte hinner stanna före banänden
VR-fart: (rotate) Farten då man kan börja stiga.
V2-fart: Bäst fart för fortsatt stigning.

SÅ FLYGER DU TRAFIKFLYGPLAN

DEL 2 – FÄRDPLANERING

Biggles startar med ett glatt leende, Hot Shottarna flyger upp och ned och hit och dit, på film är allt så lätt och man skämtar bort alla misstag. Sanningen är att flygning är rutin, rutin, rutin. Skriv ut den här artikeln och ha i knät när du hamnar i cockpit härnäst.

FÄRDPLANERING

Innan en flygning påbörjas måste piloten lämna in en färdplan till Luftfartsverket där det anges vilken typ av flygplan man har, vilken väg man planerar att flyga och alternativ flygplats om man inte kan landa på sin tänkta destination. Den här informationen skickas till Eurocontrol i Bryssel (Eurocontrol är en multinationell organisation för flygsäkerhet i luftrummet där närmare 40 europeiska stater är medlemmar) som vidarebefordrar den till inblandade flygplatser och kontrollcentraler utmed rutten. Eftersom vi flyger simulator, söker vi upp flygledarnätverket VATSIM på Internet för att få flygledning.

Gäller det en flygning nedåt i Europa ska man dessutom begära en slottid för flygledarna längs vägen och för den mottagande flygplatsen. Centraleuropeiska flygplatser är så upptagna att man får begära en ankomsttid (ETA) i förväg och sedan hålla den eller tvingas vänta länge i luften på en ny landningstid. Eftersom flygtiden är känd kan man räkna baklänges och se när man bör starta för att vara framme i tid.

Efter flygningen är det viktigt att anmäla till LFV att färdplanen avslutats. Annars påbörjas automatiskt en spanings- och räddningsinsats.

All information en pilot behöver för sin flygning, står i AIP, som står för Aeronautical Information Publication, en faktasamling med information för luftfarten. Nästan alla länder ger ut en nationell AIP med information om sina förutsättningar för att kunna flyga till, från eller över landets luftrum och flygplatser. I Sverige ges AIP ut som tryckt produkt i 3 delar med information av allmän art (Del GEN), information avseende flygplatser i Sverige (Del AD, AD står för Aerodrome), samt information för undervägstrafik, det vill säga framförande av luftfartyg annat än vid start och landning (Del ENR, där ENR betyder en-route). AIP:n kan uppdateras i intervall av 28 dagar.

NOTAM, Notices for Airmen, är en tjänst som innebär att man löpande ger ut aeronautisk information som antingen ändrats innan AIP har uppdaterats, eller när det gäller information med tillfällig varaktighet (till exempel tillfälligt stängd taxibana på en flygplats).

RUTTEN

Vi hade tänkt flyga från Stockholm Arlanda till Sundsvall/Härnösand Midlanda, en nätt sträcka på 50 minuter eller 173 nautiska mil. Fast så säger inte en pilot, utan rent tekniskt, med ICAOs (International Civil Aviation Organization) förkortningar flyger vi från ESSA till ESNN. ICAO-kodens E betyder givetvis Europa och S betyder Sverige (N betyder Norge osv). Med IATAs (International Air Transport Association) förkortningar, som används mot passagerare, flyger vi istället ARN till SDL.

Den verkliga kursen i detalj, så som piloter diskuterar den, kodas så här:

ESSA RESNA T314 DEGAL RUSUT OKLEV ESNN

där RESNA, DEGAL, RUSUT och OKLEV är brytpunkter på kartan som vi ska se senare. T314 (Tango three one four) är en etablerad flygled som man lämpligen följer. Den börjar med RESNA och slutar med OKLEV och går i stort sett rakt norrut från Arlanda.

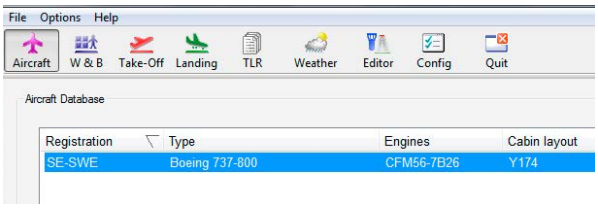
Ingen flygrutt får anträdas utan att man har minst en reservflygplats, dit man kan flyga om det ursprungliga målet skulle råka vara stängt på grund av dåligt väder eller andra orsaker. För vår del kommer det att bli Kramfors (ESNK, 32 NM från ESNN), Arlanda (ESSA, 173 NM från ESNN) och slutligen Oslo Gardemoen (ENGM, 230 NM från ESNN). Vi måste alltså minst ha extra bränsle med oss för att kunna flyga de extra 32 nautiska milen till Kramfors.

Vad ska man kalla sin flygning? Det är upp till varje flygbolag. Eftersom vi låtsas flyga SAS väljer vi ett flightnummer som brukar användas på den avsedda sträckan, nämligen SAS 060 (och inte SK 060 som är den förkortning som passagerarna ser). När piloterna talar med flyglednigen säger de oftast ”Scandinavian zero six zero”.

Vikt och balansplanering med TOPCAT

Korrekt färdplanering är av yttersta vikt. Gör man den fel riskerar man att inte kunna starta för att planet är för tungt, eller luften för tunn för att medge start på den startbana som finns. Man riskerar att bli utan bränsle och vet inte heller när man kommer fram.

De flesta flygbolag har ett färdplanesystem som piloterna använder rutinmässigt. Ett sådant system känner till alla flygplanstyper och deras egenskaper, liksom alla flygbolagets rutter, avstånd och inblandade flygvägar. Dessutom känner systemet till alla radiofrekvenser och fixpunkter i terrängen som är av vikt vid flygnigen. Som privatflygare får man lära sig att göra dessa beräkningar och kartuppslag manuellt och fylla i loggboken, men de stora bolagen har automatiserat detta.



Föreningen Swesin använder sig av viktplaneringssystemet TOPCAT (Take-Off and Landing Performance Calculation Tool).

Man börjar i TOPCAT med att välja flygplanstyp och får reda på planets huvudparametrar, såsom motortyper, lastkapacitet. passagerarkapacitet, bränslemängder osv. Dessutom visa programmet vilka mätenheter som kommer at användas i det följande.

Listan Aircraft Database innehåller alla flygbolagets flygplan och för Swesims del inskränker det sig till en Boeing 737-800 med registreringsnumret SE-SWE. Vi dubbelklickar helt enkelt på denna.

Dry operation weight anger att flygplanet väger nästan 43 ton innan man tankat och innan passagerarna klivit på.

Max take-off weight (maximal startvikt) är 78,5 ton, medan maximal landningsvikt är 66,4 ton. Fulltankad måste man alltså flyga bort 12 ton bränsle för att kunna landa igen.

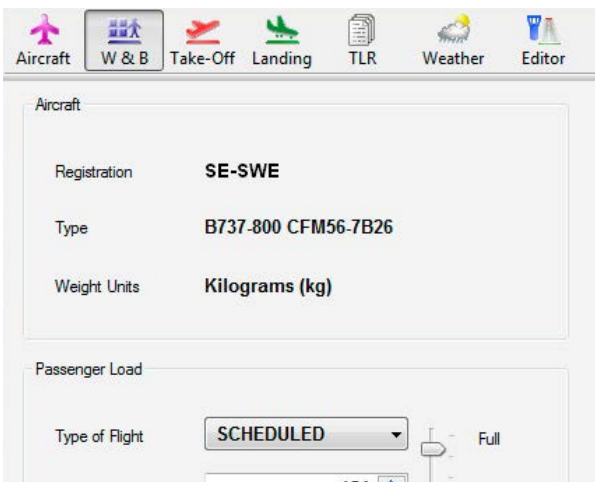


Bild nummer 2, W&B handlar om vikter och planets balansering.

Man börjar med att mata in flygnigens flightnummer (SAS 060) och avgångs- och destinationsflygplatserna (ESSA respektive ESNN). Programmet räknar själv ut storcirkeldistansen 195 NM och den ungefärliga flygtiden 50 minuter.

Fältet Weight limits visar olika maxvikter på bland annat bränsle, men så mycket kommer vi inte att behöva.

Fältet Passenger load visar verkliga eller påhittade passagerarantal och tillhörande vikter. För denna flygning föreslår systemet 154 vuxna, 6 barn och 7 bebisar med en total vikt av drygt 13 ton.

Eftersom det är en inrikesflight (Domestic) vet programmet att de kommer att ha med sig cirka 1,7 ton bagage. Normalt är att man dessutom får ta 200 kilo ytterligare försändelser, som till exempel post. Det slutar med en totallast på 1,9 ton.

I rutan Fuel Load låter vi programmet beräkna bränsleåtgången genom att trycka på knappen Estimate. Programmet förslår att vi tankar dryga 4 ton bränsle, vilket inkluderar 115 kilo för att kunna fara omkring på taxibanor i tio minuter. Det blir inga fyra ton, utan systemet räknar in ytterligare 1,8 ton för att vi ska kunna flyga till en alternativ flygplats om Sundsvall var stängd.

Hur mycket bränsle som går åt till det vet programmet genom att det själv angivit en alternativ flygplats i rutan Destination alternates, nämligen ESNK, som är Kramfors på 32 NM avstånd och den närmaste flygplatsen som klarar vår flygplanstyp, med tillräckligt lång bana etc.

Under Other/Remarks kan man fylla i vem som upprättat färdplanen (Daniel Matsson) och vem som ska vara Pilot In Command. I rutan remarks kan man till exempel fylla i flygningens syfte eller något annat.

I rutan Weight & Balance Summary har programmet nu räknat ut de slutliga viktvärdena. Totalt kommer vi att ha en nyttolast på 15,1 ton och en tomvikt på drygt 43 ton. Kvarvarande bränsle vid start kommer att vara 3,9 ton. Det ger oss en startvikt på knappt 62 ton. Eftersom 2,1 ton bränsle går åt under vägen kommer vi att landa med en vikt på 59,9 ton (vilket faller under den maximala landnigsviken på 66 ton.).

Flygplanets tyngdpunkt kommer att hamna 26,2 % för långt fram vid starten och programmet föreslår att vi använder en stabiliser trim (höjdrodertrim) på +5,1. Vi ser också att planet är underlastat med 3,6 ton. Ytterligare så mycket vikt kan vi ta ombord utan att parametrarna i övrigt förändras.

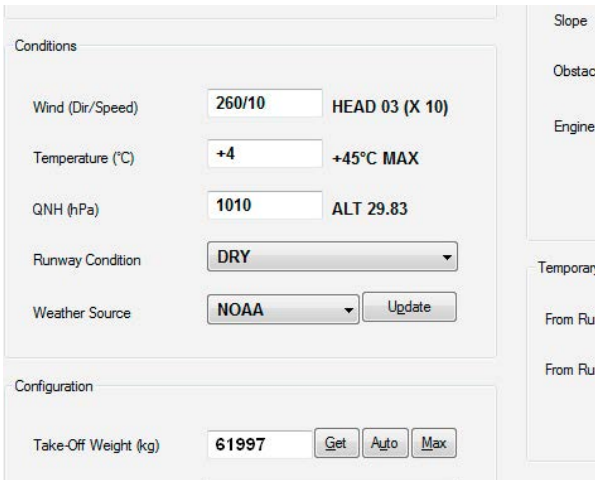
Ny trycker man på knappen Loadsheet och får ut en belastningssammanfattning på printern. Den tar man med sig i cockpit.

”I rutan Weight & Balance Summary har programmet nu räknat ut de slutliga viktvärdena. Totalt kommer vi att ha en nyttolast på 15,1 ton och en tomvikt på drygt 43 ton.”

```
LOADSHEET                    ISSUED BY          APPROVED

ALL WEIGHTS IN KILOGRAMS     .........          .........
                               DM                 DM

REMARKS/ FLYGNING MED IDG

FROM/TO    FLIGHT    A/C REG      A/C TYPE
ESSA/ESNN  SAS060    SE-SWE       B737-800/CFM56-7B26

                          WEIGHT   DISTRIBUTION
LOAD IN COMPARTMENTS        1960   1/939 2/1021

PASSENGER/CABIN BAG        13146   AD/154 C/6 I/7     TTL

TOTAL PAYLOAD              15106
DRY OPERATING WEIGHT       42991                      DEST
ZERO FUEL WEIGHT ACTUAL    58097   MAX     61689 L
TAKE OFF FUEL               3900
TAKE OFF WEIGHT  ACTUAL    61997   MAX     78471
```

Så här ser Loadsheet ut. Utforska gärna själv alla övriga parametrar som inte tagits upp i texten. Man kan till exempel notera att programmet vid Standard Weight antagit att en vuxen passagerare väger 84 kilo. Man kan ju undra hur sant det är med dagens feta svenskar.

Vi fortsätter med tredje skärmbilden i TOPCAT, kallad Take-off.



I rutan Conditions visas de väderförutsättningar som gäller på Arlanda just nu efter att vi tryckt på knappen Update, nämligen 4 grader varmt och en vind på 10 knop i 260 graders vinkel.

Rutan Configuration är en sammanfattning av parametrarna vid start. Flaps config visar att klaffarna ska stå helt ute, läge 5. Thrust config TO betyder att vi startar med full dragkraft. Air conditioning ska vara på vid start (men om banan varit lite kortare hade man haft den avstängd, för det ger något mer motorkraft, då ingen luft går åt till ”bleeding”) och detsamma gäller för Anti-ice.

I Airport & Runway väljer man parametrar kring flygplatsen. Vi antar att vi kommer att starta från bana 19R och väljer detta som Runway. Bland alla banparametrar ser vi att banans kurs är 185 grader. Vi startar alltså nästan rakt söderut.

Efter att man tryckt Calculate takeoff performance räknar programmet olika prestandagränser och visar

”Eftersom flygbolaget gärna vill spara på motorerna rekommenderas vi att starta med lägre pådrag”

i en tabell kallad Perf. Limit. Översta tabelldelen OAT (Outside Air Temperature) visar de parametrar som gäller när man startar med full motorkraft, bland annat tre olika V-farter. Har vi passerat farten V1 (135 knop) måste vi lyfta eftersom planet inte hinner stanna före banänden annars. Vid farten VR (136 knop) kan vi börja rotera (stiga), för skulle man göra det vid lägre fart skulle stjärten slå i banan. Farten V2 (143 knop) är bäst för stigning, särskilt om man skulle förlora en motor. När vi lättat är det därför 1,8 km bana kvar. Gaspådraget anges som lågtryckskompressorns varvtal (N1) som ska vara 96,4% av fullt varvtal, vilket är så nära fullgas man kommer.

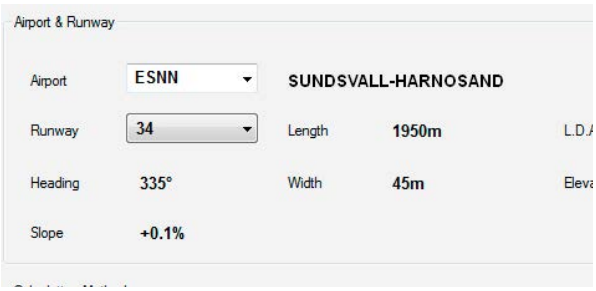
Eftersom flygbolaget gärna vill spara på motorerna rekommenderas vi att starta med lägre pådrag, så kallad D-TO (De-rated Takeoff Thrust) med cirka 88% av motorkraften. Farterna blir desamma, men det blir mindre startbana kvar.

Ett tryck på Results-knappen ger en utskrift kallad Take-off ESSA conditions.

```
TAKE-OFF ESSA/ARN  RWY 19R  TORA 3301M
SE-SWE  BOEING 737-800 CFM56-7B26
STOCKHOLM ARLANDA

TEMP +4C   QNH 1010   WIND 260/10 (02KT HW)

------------------  CONDITIONS  --------------------
            ** FLAPS 5 ** TO ** DRY **
         ** AIR COND ON ** ANTI ICE OFF **

          ASSUMED TAKE-OFF WEIGHT 61997 KG

------------------  FULL THRUST  -------------------
   +4C  81801 CLIMB  135-136 136 143   1802M  96.4%

----------------  REDUCED THRUST  -----------------
  +57C  64059 CLIMB    139   139 140   1129M  88.3%
  +58C  63575 CLIMB    139   139 140   1103M  88.2%
  +59C  63091 CLIMB    139   139 140   1080M  88.0%
  +60C  62607 CLIMB  139-140 140 140   1057M  87.9%
//+61C  62123 CLIMB    139   140 140   1032M  87.8%
  +62C NOT AUTH
  +63C NOT AUTH

**************************************************
DO NOT EXCEED MAX STRUCT TAKE-OFF WGHT OF  78471 KG
**************************************************

------------------  ENGINE OUT  --------------------
LT TO 'TEB' 117.1 (360 INBD,RT)

----------------------  END  ----------------------
```

Det blir till en liten lapp med en sammanfattning av de viktigaste data för starten, som man tar med sig i cockpit. Notera att taxivägen inte finns med. Den bistår tornet med när vi är på väg.

Det skadar inte att vara beredd på landningen, varför vi gör en landningsberäknig genom att välja skärmbilden Landing.



Det är inte säkert att denna beräkning kommer att gälla, eftersom vi inte vet vilket väder som gäller i Sundsvall om en timme.

Tryck Conditions, Update igen och vi får in aktuellt väder över Sundsvall. Det är bra väder: 2 grader varmt och 3 knops vind. Banan är torr. På ESNN landar man i princip alltid utifrån havet på bana 34, för att slippa landa rakt in över staden, med tanke på bullret och just nu är vinden extra lämplig för detta.

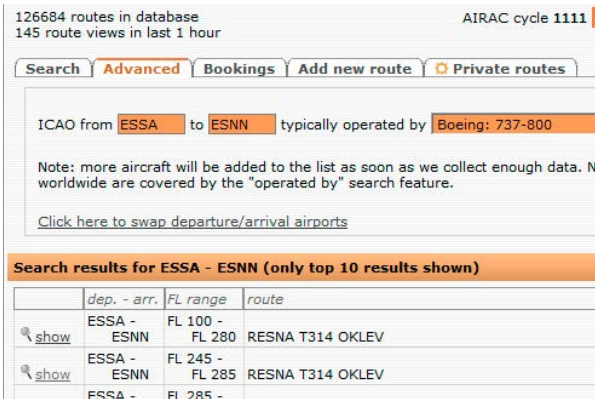
Precis som i förra bilden finns en ruta kallad Conditions, där det står att det är lämpligt att landa med klaff 30, luftkonditioneringen på, avisningen i vingarna av och manuell landning. Man hade kunnat landa automatiskt, men det vanligaste är att man landar manuellt på ESNN.

Igen går det att beräkna prestandagränserna. Ett intressant värde är Reference speed (142 knop) som är den fart vi ska hålla vid landning med alla klaffar och landställ ute. Parametern Landing distance required anger att vi kommer att behöva 1,6 kilometer bana för att hinna bromsa. Det är inga problem. Parametern Landing distance remaining anger att det kommer att vara 1 km bana kvar när vi stannat.

RUTTPLANERING MED VROUTE

Ruttplaneringen sker med ett annat programverktyg, kallat vRoute. När färdplanen är klar i vRoute kan den automatiskt lämnas in till flygledarsystemet VATSIM och så är vi med i den globala planeringen.

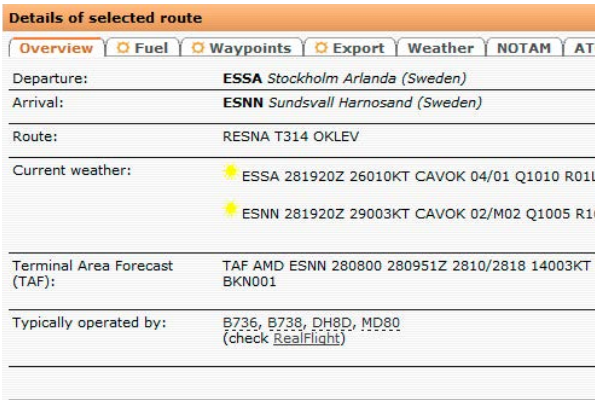
Tryck på knappen Route och vi hamnar i första skärmbilden för ruttplaneringen.



Vi befinner oss som du ser på fliken Advanced. På raden ICAO from anger vi start och destination, ESSA respektive ESNN, samt flygplanstypen. Programmet går nu in i databasen EuroFPL som är den verkliga databas där all världens färdplaner hamnar ute i verkliga världen.

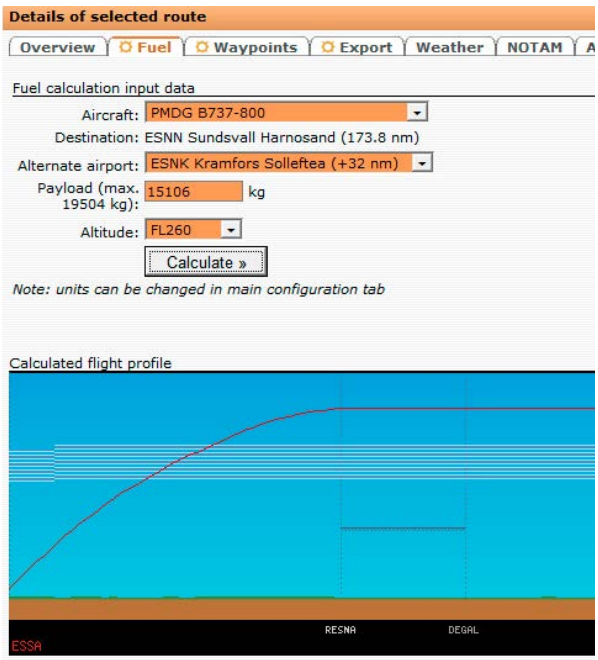
Sökningen ger fyra likadana resultat, som bara skiljer sig på i fråga om flyghöjd. Vi väljer höjderna mellan FL245 och FL285. Nu bör du väl känna igen rutten RESNA T314 OKLEV.

När vi valt denna rutt kommer vi raskt till Overview-fliken.



Där finns rutten i ännu mera detalj och vädret vid de båda flygplatserna. Längst ned finns tre föreslagna alternativa flygplatser (till exempel Kramfors, som är 32 NM norröver) och vädret vid dessa. Till höger i bild hittar vi för första gången en karta med rutten utlagd.

Vi går vidare genom att välja fliken Fuel.



Nu tittar vi i de tidigare utskrivna papperen och anger flygplanstypen, väljer alternativ flygplats och matar in vikten av nyttolasten (payload) på 15.106 kilo. Höjden FL260 väljs av erfarenhet och eftersom vi inte ska så långt tycker piloterna att 26.000 fot kan räcka. Vi har inget störande väder på denna höjd just nu. Här utbryter en diskussion mellan piloterna.

– Vi är ganska tunga?

– Ja, det kan bli svårt att komma upp på 28.000 fot.

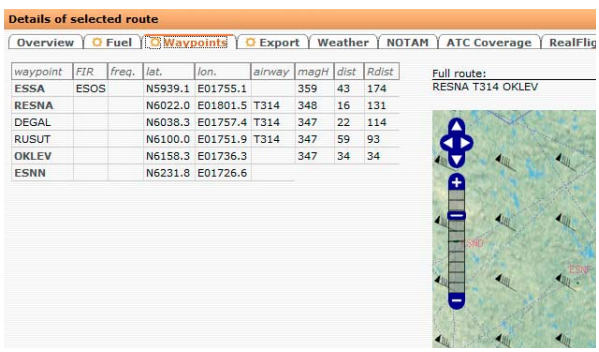
– Eftersom rutten totalt sett går västerut bör vi enligt reglerna flyga på en jämn flygnivå. Jag rekommenderar nivå 260. Vad tycker du om det?

– Jag tycker det låter bra.

Om kaptenen anser att det finns osäkerheter kring bränsleåtgången kan han lägga på extra bränsle i rutan Captain's reserve, och kaptenen matar i det här fallet in 300 kilo extra bränsle.

Programmet visar nu flygnigens höjdprofil (längst ned) där man ser vår tänkta flyghöjd, vädret i viss mån och brytpunkterna, så som vi redan diskuterat ovan: ESSA, RESNA, DEGAL, RUSUT, OKLEV och ESNN.

Dags att välja fliken Waypoints (brytpunkter).

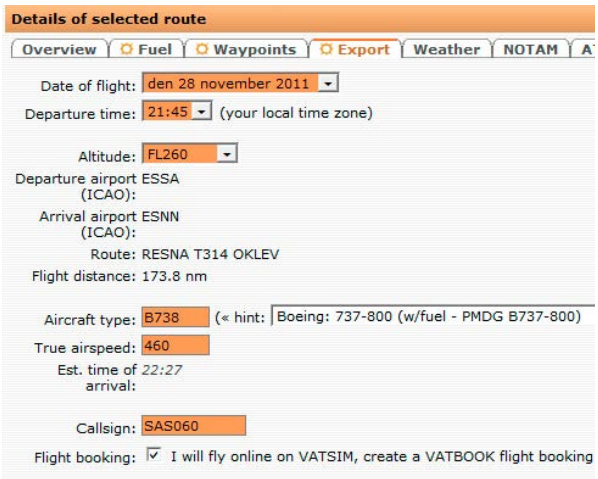


Tabellen på sidan visar återigen alla brytpunkter, men nu med tilläggsinformation om deras latitud och longitud, namnet på flygleden de ingår i (airway), kursen vi ska gira till vid respektive punkt (magH) hur långt det är emellan dem (dist) och återstående distans (Rdist).

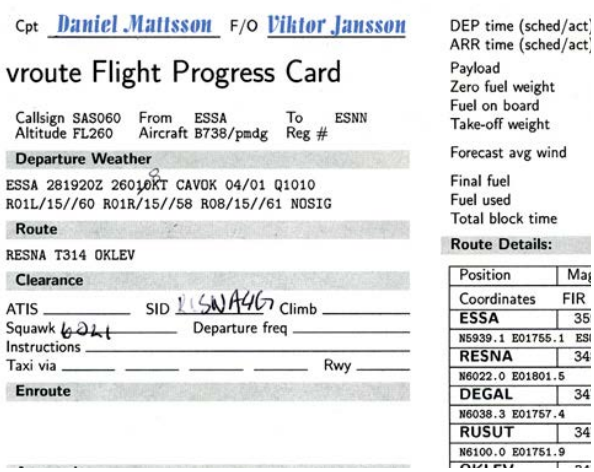
Den stora kartan visar rutten och meteorologiska tecken för vidriktning och styrka. Vi kommer att möta vind snett från vänster (inget styrbord och babord här). Områdena med blå gränser är de olika Terminal Areas, alltså olika flygledares ansvarsområden.

Dags att exportera data till flygledarna.

”Om kaptenen anser att det finns osäkerheter kring bränsleåtgången kan han lägga på extra bränsle”



Vi anger en avgångsdatum och tid (departure time) till 21.45 och den valda flyghöjden FL260 och med kännedom om detta menar programmet att vi kommer att vara framme 22.27. Flyglednigen vill veta anropssignalen (callsign) så vi anger SAS060. Vi kryssar också i rutan Flight booking och ber därmed programmet att anmäla vår färdplan till VATSIM. Vi vill också ha ett Flight Progress Card, som fortsättning på Take-off ESSA conditions och ber programmet exportera detta som en PDF vid Export format.



Utskrivet ser Flight Progress Card så här. Det innehåller i princip alla ruttplaneringsuppgifter som vi sett tidigare i programmet, ett ställe att fylla i transponderkoden (Squawk) 6041, beskrivningen av SID (Standard instrument departure, namnet på vår utflygningsväg mot T314, se mera nedan) RESNA4G, väderuppgifter (METAR) för ESNN och angränsande flygplatser (på ett format som du nu bör vara bekant med), avgångs- och ankomsttider, bränsleåtgång och den numera välkända tabellen Route details med brytpunkter och deras avstånd etc. Det finns

tomma platser för att fylla i siffror vi senare kommer att få från flygledningen under flygningens olika delar: Clearance (starttillstånd), Enroute (på väg), Approach (inflygning) och Landing.

När Gardemoen i Oslo dyker upp som alertnativ flygplats uppstår en ny diskusson:

– Har vi bränsle så vi klarar oss till Gardemoen?

– Hum, 230 nautiska mil?

– Jo, det räcker nog.

Just listan Route details är intressant eftersom den visar kvarvarande bränsle vid varje brytpunkt. Så när man når lämplig punkt kan man kontrollera om det faktiskt är fyra ton bränsle kvar. Är det då bara tre ton kvar bör man bli misstänksam.

I detta skede brukar man gå till Luftfartsverket hemsida och skriva ut METAR (METeorological Aerodrome Report, en lista med väderobservationer vid olika flygplatser) och TAF (Terminal Aerodrome Forecast, flygplatsväderprognos) för den flygplats man ämnar flyga till.

```
ESOW 281920Z 25007KT CAVOK 04/02 Q1011 RWY 19 WET OR WATER PATCHES
     0-10 PCT BA GOOD=
ESPA 281920Z 31007KT CAVOK M05/M07 Q0999=
ESPE 281920Z AUTO VRB01KT 9999NDV NCD M13/M15 Q1000=
ESSA 281920Z 26010KT CAVOK 04/01 Q1010 RWY 01L DAMP 26-50 PCT FC
     0.60 RWY 01R DAMP 26-50 PCT FC 0.58 RWY 08 DAMP 26-50 PCT FC
     0.61 NOSIG=
ESSB 281920Z 26007KT CAVOK 05/02 Q1011=
ESSD 281920Z 24009KT CAVOK 02/M01 Q1008=
ESSL 281920Z 26012KT CAVOK 07/04 Q1013=
```

Låt oss börja med att tolka METAR för Arlanda:
ESSA 281920Z 26010KT CAVOK 04/01 Q1010
RWY 01L DAMP 26-50 PCT FC 0.60
RWY 01R DAMP 26-50 PCT FC 0.58
RWY 08 DAMP 26-50 PCT FC 0.61
NOSIG=

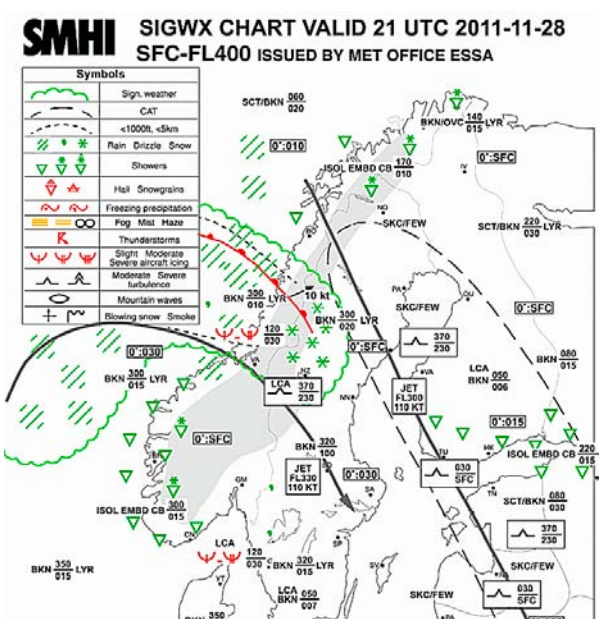
ESSA: Detta gäller för Arlanda
281920Z. Det gäller den 28:e denna månad, klockan 19.20 Zulu
26010KT: Vinden vid marken är 260 grader nord och blåser i 10 knop
CAVOK: Ceiling and visibility OK, dvs god sikt
04/01: temperaturen är 4 grader och daggpunkten 1 grad Celsius
Q1010: Lufttrycket (QNHelge) är 1010 hektopascal (eller millibar, där 1013 hPa är absolut helt normalt)
RWY 01R: Detta gäller bana 01R (höger bana med kompassriktning 10 grader nordlig, där höger räknas söderifrån)
DAMP: Banan är våt
26-50 PCT: mellan 26 och 50 procents väta
FC 0.60: Friktionskoefficient 0,6 (underhållstjänsten på Arlanda mäter regelbundet friktionskoefficienten med mätbilar med korrekt hjultryck. 0,6 är problemfritt.)
NOSIG: NO SIGnificant changes, meteorologens utlåtande om att inget särskilt kommer att ändras under den närmaste framtiden
= Sluttecken.

Efter detta går vi på och tolkar TAF för Sundsvall:
TAF AMD ESNN 280800 280915Z
2810/2818 14003KT 6000 RA BKN005
PROB40
2810/2818 1400 DZ BKN001

TAF: Detta är en Terminal Area forecast
AMD: Amended. Tillägg till en tidigare prognos.
ESNN: Detta gäller för Sundsvall
280800: Rapporten är utfärdad den 28:e 08:00 zulu
280915Z: Rapporten gäller den 28:e denna månad, och utgavs klockan 09.15 zulu
2810/2818: Rapporten gäller från klockan 10 till klockan 18 denna dag
14003KT: Vinden vid marken är 140 grader och blåser i 3 knop
6000 RA: Sikt 6 km i regn
BKN005: Spridda skyar (broken ceiling) på 500 fot.
PROB40: Dessutom är det 40% chans att följande inträffar:
2810/2818: Rapporten gäller från klockan 10 till klockan 18 denna dag
1400 DZ: 140 grader vinstilla, drizzle, duggregn
BKN001: Spridda skyar (broken ceiling) på 100 fot.

Det här förkortningsspråket finns kvar sedan den tid då väderlek, färddata och annat sändes mellan flygplatserna med morsekod.

Det är också lämpligt att skriva ut en väderkarta. Sådana finns tillgängliga på SMHIs webbsida och kallas för Nordic Significant Weather Chart eller SIGWX. Väderfronter är otrevliga att flyga in i.



Så här ser vädret ut på riktigt. Det man ser på TV är överförenklat. Rutorna med JET visar att det är en jetström och inom det streckade området finns det risk för turbulens. I rutan längst nere till höger har meteorologen lämnat sin personliga åsikt om hur vädret kommer att utvecklas, särskilt med avseende på isbildning i den front som rör sig österut över Norge.

KARTOR UNDER FLYGNINGEN

Innan man ger sig iväg till flygplanet ska man också kontrollera att man har alla kartor med sig. Alla kartor som behövs, finns i Luftfartsverket publikation AIP (Aeronautical Information Publication) som alla piloter ska ha. Ska. Den finns på Internet och kan skrivas ut.

Steg ett är att gå igenom taxi-proceduren.

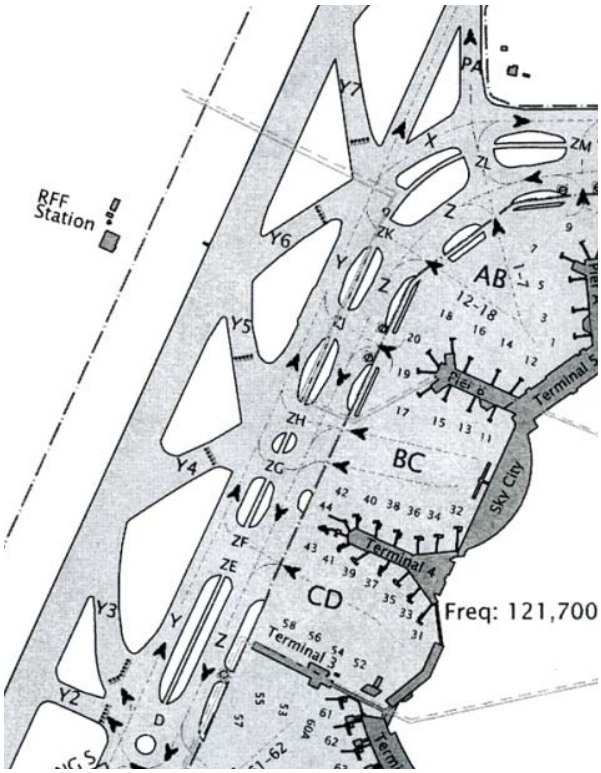


Illustration: LFV. Detta får ej betraktas som operativ information.

För den skull slår man upp Arlanda Taxi Route Procedures i AIP. Vårt plan står parkerat vid Gate 34 på apron BertilCesar vid Arlandas Terminal 4. Vi kommer att bli anvisade att följa de svarta pilarna, över taxibana Zäta, via övergång ZätaGustav till taxibana Yngve och norrut tills vi når övergång Yngve9. Norrifrån heter startbanan 19Rudolf och vi ställer upp i norränden och väntar på starttillstånd.

”Alla kartor som behövs finns i Luftfartsverket publikation AIP som alla piloter ska ha. Ska.”

Efter starten kommer vi att följa vår SID.

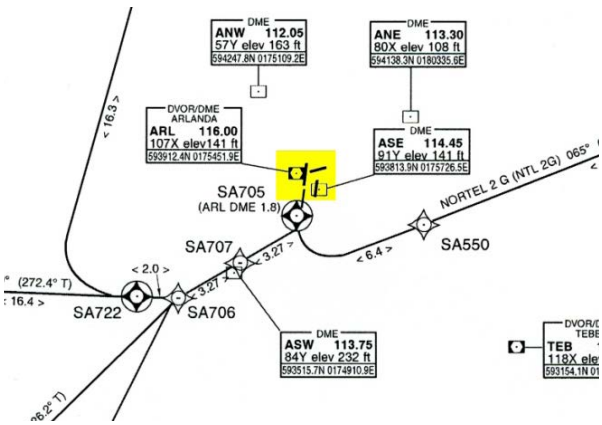


Illustration: LFV. Detta får ej betraktas som operativ information.

Den beskrivs på sidan Stockholm/Arlanda Aerodrome Fms/Rnav Sid RWY 19R i AIP och är en detaljerad karta över vår SID ut från bana 19Rudolf. SID har skapats av flera anledningar. Man vill inte flyga in i radiomaster och dylikt och dessutom måste man av bullerskäl undvika städer och naturreservat.

Det var RESNA vi skulle till. När vi kommit ned på denna sista detaljnivå ser du att det finns ytterligare brytpunkter som vi måste passera, nämligen SA705, SA707, SA706, SA722, SA855 och till RESNA, som är påfarten upp på motorvägen T314. Siffrorna inom hakparenteser är avstånden i nautiska mil. SA är naturligtvis efterledet i flygplatsnamnet ESSA. Utflygningsvägen har ett namn också, RESNA4G (som vi ju fyllt i tidigare i vRoute). Uppgifter upprepas och upprepas i det oändliga, just för att de ska nötas in och bli rutin.

Det finns andra saker på kartan också. Flygfyrarna är utsatta, exempelvis den DME-fyr som samtidigt utgör brytpunkt SA707. DMEn heter ”ASW”, vilket kommer att visas på Navigation Display, den sänder på 113,75 MHz (DME-kanal 84Y) och befinner sig på en höjd över havsytan på 232 fot. Dess exakta position är 59°35’15,7” nordlig bredd och 17°49’10,9” östlig längd.

När vi kommit fram till Sundsvall är det dags att ta fram nästa karta.

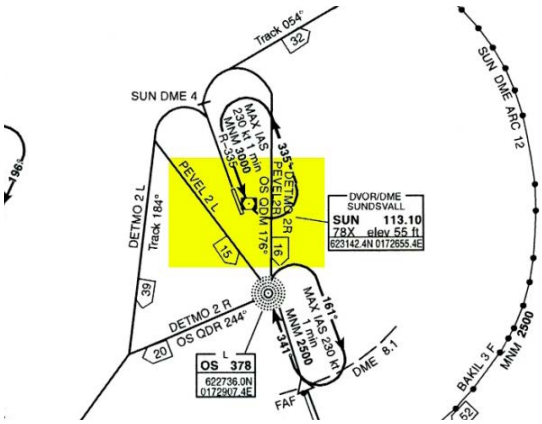


Illustration: LFV. Detta får ej betraktas som operativ information.

Slå upp sidan Sundsvall-Härnösand Aerodrome SID and STAR Instrument RWY 34 i AIP. Denna karta är en detaljerad beskrivning av vår inflygning efter att vi lämnat OKLEV som är sista brytpunkten i färdplanen. Vår STAR (Standard approach route) har namnet OKLEV3F. Vi fortsätter norrut tills avståndet till Sundsvalls DME (SUN 113,1 MHz) är 16,5 NM och tar av åt höger till kurs 9 grader och när vi har 12 NM kvar svänger vi vänster till kurs 341 grader och går rakt mot Sundsvalls NDB-fyr ”OS” som sänder på 378 kHz.

När man börjar komma närmare Sundsvall kan det vara dags att ta fram ILS-kartan för att få hjälp av instrumentlandningssystemet.

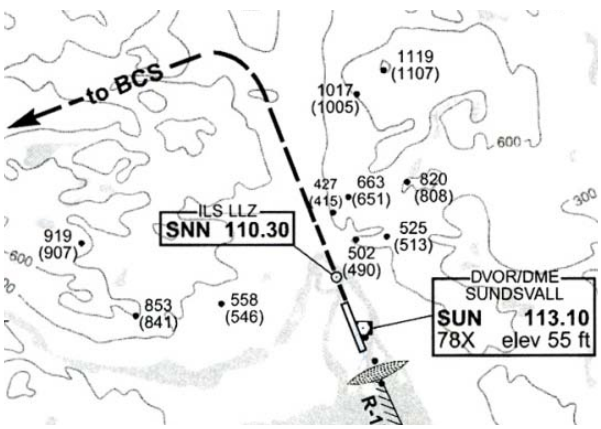


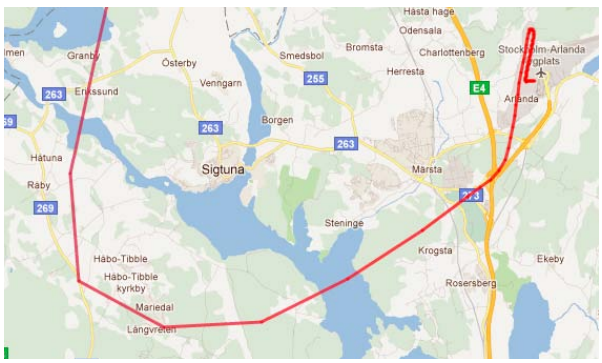
Illustration: LFV. Detta får ej betraktas som operativ information.

Slå upp sidan Sundsvall Instrument Approach Chart i AIP. Den visar alla procedurer för att närma sig och landa på Midlanda, procedurer om landningen skulle misslyckas med mera. Överst står anropsfrekvensen till flygledartornet (TOWER 129,500 MHz) och till det automatiska vädermeddelandet (ATIS 127,400 MHz). Utrustningen beskrivs kortfattat uppe i högra hörnet som ”VOR/DME+ILS” vilket betyder att vi har hjälp av både avståndsangivelse och instrumentlandningssystem. Du känner igen dig från förra kartan, men nu är allt i bättre detalj. Det streckade området är glideslope, den radiostråle man måste följha för att träffa banan. ILS-fyren har en lokaliseringsfyr som hörs om du ställt in NAV-radion på 110,3 MHz. Då kommer du att höra morsetecknen ”SNN” om och om igen.

När vi är så här nära ska vi hålla kurs 336 grader för att träffa banan. Vi kommer att träffa på den yttre ILS-markören på 3,7 NM och mittmarkören på 0,7 NM avstånd från banänden. Någon inre ILS-markör finns inte här.

I rutan längst ned på sidan beskrivs situationen från sidan, dvs hur vi ska sjunka med 3 grader för att träffa banan, genom yttre markören (OM) och mittmarkören (MM) och sedan träffa banan vin noll NM.

Skulle landningen misslyckas måste vi fortsätta enligt den streckade linjen och svänga vänster mot fyren BACCHUS (en NDB-fyr med namnet ”BCS” som sänder på 416 kHz) och cirkla i en väntbana där. Låt oss hoppas att vi slipper det.



Ett specialhack med Google Maps visar vår flygväg så som man är van att se den. Du ser till och med taxivägen som börjar vid flygplanssymbolen som markerar Arlanda och hur vi kommer att komma till banänden och starta söderut. Den lite kantiga svängen norrut är helt enkelt passagerna över brytpunkterna. Anledningen till att man lagt flygvägen precis så är att man elegant undviker att flyga och bullra över Märsta och Sandhagens och Kungshamn-Morga naturreservat. Vi undviker också att komma för nära Bålsta.

Det var alla pappersprocedurer. På med kaptensmössan. Packa ned AIP och alla lösblad i kabinväskan och rulla iväg genom korridorerna, hugg en kopp kaffe i flygkaféet, morsa på flygvärdinnorna och gatepersonalen och kliv ombord och slå dig ned.

Vänta nu med förtröstan på avsnitt 3 då du får lära dig spakdragandets ädla konst.

LÄS MER

Swesim: www.swesim.se
Om Swesims Boeing 737: www.swesim.se/proj_b737.php
Om Boeing 737: http://en.wikipedia.org/wiki/737-800
Grundinstrumentering: http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_instruments
EFIS, Elektroniska flyginstrument: http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_flight_instrument_system
Vikt och balansberäkningar med Topcat: www.topcatsim.com
Ruttplanering med vRoute: www.vroute.net
Luftfartsverket: www.lfv.se
Färdplaner lämnas in på: http://www.lfv.se/sv/FPC/
Handboken IAIP finns på:http://www.lfv.se/sv/FPC/IAIP/
Flygspårning: sv.flightaware.com, www.flightradar24.com
VATSIM, flygledning på Internet: www.vatsim.net
Flygspårning på VATSIM: vataware.com
Om flygledning och flygspråk: Back in the A.T.C.C. Nätverk & Kommunikation 2006-12
Om sekundärradar: http://www.idg.se/2.1085/1.91378
ICAO: http://en.wikipedia.org/wiki/ICAO_airport_code
IATA: http://en.wikipedia.org/wiki/IATA_airport_code

ORDLISTA

A/P: Autopilot
A/T: Autothrottle, automatiskt gasreglage, del av autopiloten
ADF: Automatic direction finder, instrument som visar riktning till VOR, NDB etc
AIP: Aeronautical information publication, en faktasamling med information för luftfarten om flygplatser mm.
APU: Auxilliary power unit, liten jetmotor längst bak i planet som bara används som elgenerator och för att blåsa igång huvudmotorerna
ARR: Arrival, ankomsttid
ATIS: Automatic terminal information service, automatiskt vädermeddelande som sänds ut från en flygplats på radio
BARO: Barometriskt lufttryck
CAVOK: Ceiling and visibility OK, klart väder, god sikt.
CDU: Computer display unit, gränssnitt mot FMC
DEP: Departure, avgångstid
DME: Distance measuring equipment, en radiofyr man kan navigera mot och också mäta avståndet till
EFIS: Electronic flight indication system, de elektroniska flyginstrumenten
EGT: Exhaust gas temperature, jetstrålens utgångstemperatur
EICAS: Engine indicating and crew alerting system, bildskärmarna för motor- och systemdata, kallas även MFD
ETA: Estimated time of arrival, uppskattad ankomsttid
FMC Flight management computer, navigeringsdatorn
G/S: Glide slope, glidbanan vid landning
GP: Glide path, samma som G/S
GPS: Global positioning system
GS: Ground speed, farten över marken
IAS: Indicated airspeed, den hastighet gentemot luften som utvinns direkt ur pitotröret, se TAS
IFR: Instrument flight rules, instrumentflygutbildning, där man inte behöver kunna se marken
ILS: Instrument landing system
MCC: Multi crew cooperation, kurs i samverkan mellan två piloter
METAR: METeorological Aerodrome Report, en lista med väderobservationer vid olika flygplatser
MFD: Multi Function Display, bildskärmarna för motor- och systemdata, kallas även EICAS
MSL: Man sea level, havsytans medelnivå
NDB: Non directional broadcast, en äldre typ av radiofyr som man bara kan veta riktningen till. Ett åldrigt hjälpmedel som håller på att försvinna. NDB-fyrarna (Non-Directional Broadcast) som sänder på långvågen är inte längre ett krav i alla länder. Många moderna flygplan har inte längre någon NDB-mottagare, men för svenska privatflygare är en sådan mottagare fortfarande ett krav. En del fyrar har dock redan försvunnit även i Sverige.
NM: Nautiska mil
NQ: Night qualification, pilotutbildning för nattflygning så man ser marken, tillägg till VFR
PFD: Primary flight display, huvudflyginstrumentet
QNH: (QNHelge) lufttrycket vid marken. Morsekoden för lufttrycket, användes väldigt tidigt i flyghistorien
TAF: Terminal aerodrome forecast, flygplatsväderprognos
TAS: True airspeed, sann, beräknad hastighet gentemot luften vilken kräver invecklade beräkningar
TCAS: Traffic collision avoidance system, ett kollisionsvarningssystem baserat på transpondersvar
VFR: Visual flight rules, pilotutbildning för flygning så man ser marken, normalt för privatflygplanspiloter
VOR: VHF omnidirectional range, en radiofyr man kan navigera mot
FL: Flight level, flyghöjden i fot delat med 100
SID: Standard instrument departure: utflygningsväg
STAR: Standard approach route, inflygningsväg
V1-fart: Farten då man måste lyfta eftersom planet annars inte hinner stanna före banänden
VR-fart: (rotate) Farten då man kan börja stiga.
V2-fart: Bäst fart för fortsatt stigning.

SÅ FLYGER DU TRAFIKFLYGPLAN

DEL 3 – FLYGNING

Biggles startar med ett glatt leende, hotshottarna flyger upp och ned och hit och dit, på film är allt så lätt och man skämtar bort alla misstag. Sanningen är att flygning är rutin, rutin, rutin. Skriv även ut den här sista artikeln i serien och ha i knät när du hamnar i cockpit härnäst.

Författaren vill här skildra procedurer och metoder under flygning med ett större trafikflygplan, ett Boeing 737-800, dels för att det är ett intressant teknikområde som mycket av vårt samhälle är baserat på, dels för att det både är roligt att flyga, men även för att skandalhungriga kvällstidningsskribenter ska kunna förstå hur oerhört noga den ansvarsfulle piloten tar på flygsäkerheten och att olyckor för det mesta bara sker när någon tummat på reglerna.

Vi har lämnat det bästa till sist. Att flyga är at leva... Nej, att flyga är att mata in parametrar. En flygning är inget annat än en genomförd färdplan. Rekommendationen är att du lägger upp instrumentpanelerna och kartorna bredvid denna text på skärmen så att du kan följa med i alla kommandon.

Styrman startar flygplanet och säkerställer att hydraulpumparna är avstängda på Overhead Panel.

Piloterna kommer in i cockpit, slår sig ned i sina stolar, spänner fast säkerhetsbältena, tar på sig headseten och läge fram alla papper som kommer att behövas. Från början är cockpiten helt svart. All drivspänning är avstängd. Förhoppningsvis är batterierna laddade och markströmmen ansluten, men tillförseln avstängd.

Realtiden är nu 20.40 och himlen är svart utanför fönstren. Gate 34 är klart upplyst av terminalbelysningen. Det är samma gate 34 som passagerarna ser från insidan av inrikesterminal 4. På alla bildskärmar i terminalen bör det nu stå ”SAS SK 060 to Sundsvall boarding now at gate 34”.

Under tiden jobbar markpersonalen utanför planet med att tanka det och lasta in bagaget i bagageutrymmet och laddar med smörgåsar och kaffe genom servicedörren. Om en liten stund kommer också gatepersonalen på kaptenens order att börja släppa ombord passagerarna och kabinpersonalen visar dem till rätta, får folk att sätta sig ned, räta upp stolsätena och hålla sig lugna i största allmänhet och sluta plocka kabinbagaget ut och in. Därefter avfyras välkomstmeddelanden och säkerhetsproceduren gås igenom. Piloterna har inget att göra med något av detta.

För att flygplanet ska börja fungera måste styrman:

- Slå på batterispänningen på Overhead Panel
- Undersöka att vindrutetorkarna inte är påslagna på Overhead Panel
- Undersöka att hydraulpumparna är avstängda på Overhead Panel (dels bullrar de för markpersonalen och dels kommer noshjulet att streta emot när markpersonalen ska skjuta ut planet, sk pushback)

Efter ett tag har datorerna som driver vänsterpilotens bildskärm kommit igång och skärmarna tänds. Var pilot har sin egen dator och för att inte förbruka för mycket batteri drivs högerpilotens dator och bildskärmar av generatorström eller markström, så de är ännu inte igång.

Markströmmen (Ground power), alltså navelsträngen från flygplatsens elnät som sitter inkopplad i planets nos, finns tillgänglig och styrman aktiverar denna på Overhead Panel. Nu tänds alla instrument i cockpit och alla datorer går igång. Styrman slår på de instrument som tar lång tid att starta. Tröghetsnavigeringssystemet (IRS) aktiveras (L och R IRS till läge NAV) eftersom det tar lång tid för gyrona att komma igång. Färdskrivarens funktion testas (Flight recorder i läge Test). Höghastighetsvarningens signal provas (Mach airspeed warning Test 1 och 2) och den skramlar väldigt högljutt. Samma med stallvarningen (Stall warning test). Lamporna för landstället ska lysa grönt, både på Overhead Panel och på instrumentpanelen.

Första steget vid datorskärmen CDU är att mata in GPS-positionen så att tröghetsnavigeringssystemet (IRS) vet var vi är. Styrman tar GPS-positionen, som också visas på CDU och anger som nuvarande position. Styrmannens fingrar far så snabbt över tangenterna att de inte kunde fångas i denna långa exponering.

Eftersom kommunikationsradiomottagaren nu kommit igång och står på 119,000 MHz hörs ur högtalaren i taket Arlandas automatiska terminalmeddelande för avgående trafik uppläst av en syntetisk röst: ”Arlanda ATIS November ILS approach runway 19L, departure runway 19R, QNH zero one zero one osv” som anger vilken bana man normalt starta och landar på just nu, banornas

beskaffenhet, lufttrycket vid marken osv. ”November” är ordningstalet, så att man vet vilken av rapporterna man hört. De benämns Alpha, Bravo, Charlie osv. ATIS stämmer in i alla våra tidigare väderuppgifter, även om vinden gått ned från tio till åtta knop.

Nu läser styrman alla parametrar från färdplanen och matar in dem i CDUn och på övriga ställen på instrumentpanelen. Det är rutten (ESSA - ESNN), flightnumret (SAS060), vikter, reservbränsle (captain’s reserve), flyghöjd och vindar och så vidare. Flaps = 5, matas in från listan Take-off conditions. Han slutar med att trycka på Spara.

Det kan tyckas lite efterblivet att göra detta manuellt, särskilt med risk för att fel kan uppstå, men det är så moderna trafikflygplan är konstruerade. Rutinerna är väldigt strikta för att fel ska undvikas. SAAB tog ett helt annat grepp på det hela när man införde datastaven till Gripen, en sorts tidigt USB-minne. Stridspiloten utför all färdplanering i skydd i en bunker och överför detta till datastaven. När han klättrat in i kabinen pluggar han i staven och kan vara i luften på en minut. Det är viktigt att det går undan, om flygplatsen hotas av anfall.

Så här ser CDUernas skärmbilder ut (de två liggande skärmarna).

Notera listan på skärmarna. Den visar inmatade brytpunkter, bränsletillstånd och höjd inför landningen i Sundsvall:

SAS 060 PROGRESS
SA 855 FL 182 2024Z 4,5 ton strax norr om Arlanda
RESNA 8,5 2030Z 4,5 ton ännu längre norr om Arlanda
DEGAL 16 2032Z 4,5 ton
OKLEV 106 2045Z 4,5 ton sista brytpunkten före Sundsvall
När vi landat, har 4,2 ton bränsle gått åt.
Vinden under färden kommer att bli 321 grader och 73 knop, vilket står på Flight Progress Card från Vroute.

KONTAKT MED STOCKHOLM CONTROL

Dags att ta kontakt med trafikledningen Stockholm Control. Kommunikationsradion ställs in på 123,750 MHz. Styrman trycker på sändknappen:

– Stockholm, godkväll. Scandinavian zero six zero at stand three four is type Boeing seven three seven with information november one zero one zero. Request startup and clearence to Sundsvall-Härnösand.

Vi menar att vi står vid Gate 34, sitter i en 737:a, har hört ATIS-meddelandet ”november” och att vi förstått att lufttrycket är 1010 hPa.

Trafikledningen svarar (vi övergår till vanliga siffror):

– Scandinavian 060, godkväll, Stockholm Control. Information november correct. Startup is approved. You are cleared to Sundsvall-Härnösand. RESNA4G departure. Squawk 6021.

– Startup approved, cleared to Sundsvall, RESNA4G departure, squawk 6021, Scandinavian 060.

MCC träder in. Kaptenen säger:

– Jag har ställt in transponderkoden 6021.

Styrman svarar:

– Uppfattat.

Nu kan man låta passagerarna gå ombord. Det görs genom att kaptenen ger kabinpersonalen sitt godkännande att släppa på passagerarna.

Det är inte färdigt med inmatningen ännu, utan nu lägger styrman in SID, alltså utflygningsrutten från Arlanda med namnet RESNA4G i datorn.

Så är det dags att börja aktivera planets övriga funktioner. Styrman börjar med sina kontroller.

Han slår på Yaw damper på Overhead panel.

Han slår på mittankens vänstra bränslepump för att ge bränsle till APUn (Ctr fuel pumps L on).

Kabinpersonalen ska kunna koka kaffe och behöver ström (AC Galley power on).

Han startar APUn (APU Start) varefter avgastemperaturen börjar stiga på EGT-mätaren ovanför brytaren.

Nödutgångsbelysningen aktiveras (Emer exit lights Armed). Inte på, bara redo-läge.

Säkerhetsbälteslamporna tänds (Fasten belts On).

Vindrutan ska värmas för att bli spänstig (Window heat On på fyra ställen).

Titta på indikatorlamporna för dörrarna och inser att dörrarna fortfarande är öppna.

Trim air slås på för att blanda den konditionerade luften runt om i flygplanet.

Engine bleed slås på för att få värme till luftkonditioneringen (Bleed 1 och 2 On). Vi väntar dock med APU bleed ännu en minut. APUn måste få igång sin egen kylning först innan man kan ta luft från den.

Kabinhöjden (Flt alt) ställs in till 26.000 fot för att luftkonditioneringssystemet ska kunna ge rätt kabintryck.

Ytterbelysningen slås på (Logo On).

Ground proximity warning provas (Ground proximity Sys test) och systemet läser upp alla varningsmeddelanden.

Den grafiska layouten på bildskärmarna undersöks samt att det inte finns några felindikeringar i allmänhet (Master caution). Indikeringslamporna provas (Lamps test).

Man undersöker att lamporna för landstället lyser gröna (6 ställen) och att handtaget är nere.

Automatbromsen ska ställas in för avbruten start (Auto brake Rto, rejected take-off) ifall man skulle behöva avbryta starten och få hjälp med att bromsa på banan.

Nu är det kaptens tur att genomföra sina kontroller.

Han börjar med att kontrollera alla varningslampor (Lamps test). Hittar man en lampa som inte fungerar eller en sjusegmentsdisplay som inte visar alla segment ska det antecknas i flygplanets loggbok, så att felet kan åtgärdas snarast.

Parkeringsbromsen kontrolleras. Knappen ska lyftas upp och då ska parkeringsbromslampan lysa.

Gaspådragen ska löpa lätt.

Det finns ett systems som förhindrar att man försöker starta utan att ha fällt ut klaffarna. Genom att bara dra upp gasreglagen över ett visst värde börjar en summer ljuda, eftersom planet ju står still och klaffarna är infällda.

Alla skärmar ska visa rätt bilder: Navigation display ska visa terrängradar.

Några delar av kursen kan ställas in på MCP. Heading skall ställas till startbanans kurs och Course skall ställas till lämplig procedur (oftast kursen för proceduren som skall utföras efter start om en motor lägger av). Höjden 5000 fot för denna procedur står i AIP på samma karta som SID. Det är 5000 fot för alla SID:ar på Arlanda.

Briefing

För att få absolut samstämmighet ska piloterna nu berätta för varandra vad de ska göra och det är kaptenen som ger order. Eftersom det bara är kaptenen i vänsterstolen som kan styra på marken i en Boeing 737-800 är det han som börjar med att berätta om utfärden och peka på taxikartan (se vidare avsnitt 2).

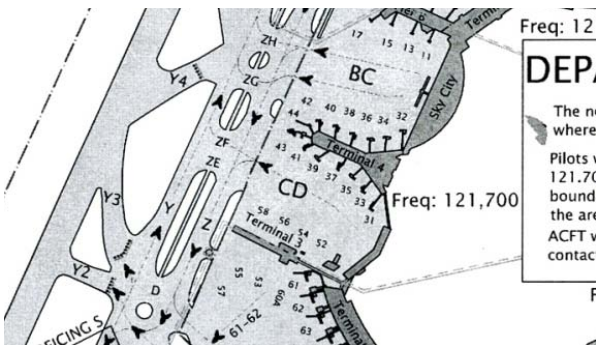


Illustration: LFV. Detta får ej betraktas som operativ information.

”Det är min start och jag flyger. Om vi får motorbrand eller annan felsituation, stiger vi till minst 400 fot.”

– Vi står vid Gate 34 vid terminal 4 på Arlanda. Vi kommer att bli utknuffade mitt på parkeringsplatsen och kommer att köra för egen maskin österut och korsa taxibana Zulu via övergången Zulu Golf. Vi svänger höger upp på taxibana Yankee ända tills Yankee tar slut. Då har vi nått banänden för 19-Roger. Där ska vi ställa upp och startar. Skulle vi få något fel vid starten vid fart under 80 knop, kommer jag att säga ”Abort” och då avbryter vi starten. Jag kommer att dra ned gasen till noll, jag kommer att applicera full reversering och ta ut luftbromsen.

– Uppfattat.

– Vad kommer du att göra i en nödsituation?

– Jag kommer att sätta klaff 40 och jag kommer att se till att luftbromsen kommer ut och om vi måste evakuera kommer jag att se till att luftbromsen är infälld och att motorerna avstängda. Jag kommer också att öppna dumpventilen till manuellt läge så att kabintrycket utjämnas.

Kaptenen fortsätter:

– Under 80 knop kommer vi att avbryta starten för alla fel som ger ett Master Caution. Mellan 80 knop och V1-fart avbryter vi för motorbrand eller fel på styrsystemet.

– Uppfattat.

– Över V1-fart lyfter vi. Då är det du som flyger.

– Det är min start och jag flyger. Om vi får motorbrand eller annan felsituation, stiger vi till minst 400 fot. Därefter börjar du (kapten) att felsöka, informerar mig och tar hand om radion.

– Uppfattat.

– Idag har vi en RESNA4G departure från bana 19 höger och vår första brytpunkt är SA705.

Samtidigt verifierar kaptenen den inlagda kursen på CDU och säger:

– Check!

– Maximum 220 knots until SA707.

– Check!

– From SA707 to SA722, then to SA855 and RESNA.

– Check!

Nu blir det radiofrekvenser och styrman säger:

– Jag har ställt in VOR 116,000 (vilket är Arlandas VOR/DME-fyr) och transponderkoden är inställd.

– Check! Då begär jag en pre-flight checklist.

– Det ska du få, svarar styrman.

BOEING 737 NG NORMAL CHECKLIST

Lines in light gray are not to be read due to missing equipment.

PREFLIGHT

Nav transfer and display switches	NORMAL, AUTO
Window heat	ON
Pressurization mode selector	AUTO
Flight instr	HDG _, QNH _ (hpa)
Parking brake	SET
Start levers	CUTOFF
Taxi and takeoff briefing	COMPLETED

BEFORE START

Fuel	_ TONS, 4/6 PUMPS ON
Passenger signs	ON
MCP	V2 HDG /LNAV ALT

Detta får ej betraktas som operativ information.

Här finns den detaljerade PDF:en av checklistan.

Varför har man en checklista? För att inget ska glömmas. Man får inte glömma att kontrollera hydraultryck, drivspänningar, eller kabintryck. Att hoppa över eller glömma hela eller delar av checklistan kan bli ödesdigert.

Intressant nog är checklistan för ett Boeing 737-800 kortare än den för ett litet sportflygplan. Många uppgifter som måste utföras i ett sportflygplan klarar man sig undan i trafikflygplanet, såsom bromsprov, provning av motorernas dragkraft, styrspakens frigång osv. Rent historiskt har checklistan för trafikflygplan blivit kortare hela tiden. Det är naturligtvis datorernas förtjänst. Äldre plan, som MD-80 har betydligt längre listor. I trafikflygplanet förutsätts också bränslemätarna vara riktiga, till skillnad från i sportflygplanet där man för sin egen skull bör titta ned i vingtankarna för att övertyga sig om bränslemängden. Många piloter har stått med nosen i backen strax efter start och sedan sagt ”Jamen, jag trodde det fanns bränsle” i den mån de sagt något alls.

– Preflight Checklist, please.

– Nav transfer and display switches? frågar kapten?

– Normal and Auto, svarar styrman. (Nav transfer står på Normal och Display står på Auto på Overhead Panel.)

– Window heat?

– On. (Vindrutorna måste alltså förvärmas för att tåla en fågelkollision.)

– Pressurization mode selector?

– Auto. (Ska stå i autoläge så att systemet själv kan stänga till kabinen och upprätthålla kabintryck.)

– Flight instruments?

– Heading?

– 166, QNH 1010, 130 feet. Checked! (Kompassen visar just nu, när vi står vid gaten, 166 graders kurs och Arlanda är 130 fot över havsnivån.)

– Parking brake?

– Set. (Det gäller att parkeringsbromsen är på så inte planet kommer i rullning när markpersonalen arbetar.)

– Start levers?

– Cutoff. (Bränslekranarna avstängda.)

– Taxi and takeoff briefing?

– Discussed.

– Checklist completed.

Checklistan läses och prickas av.

Medan nu kapten talar om för kabinpersonalen att allt är klart och att de ska stänga dörrarna, förbereder styrman motorstarten. Han börjar med att aktivera APUns elgenerator och slå av markströmmen. APUn har redan gått ett tag och dess generator kommer nu att generera ström tills huvudmotorerna är uppe i varv och kan generera ström istället.

Kaptenen talar om för markpersonalen att han tänker starta motorerna. De måste veta det för att kunna hålla sig undan från det jätttelika suget. En jetmotor är en dammsugare i ultraformat. Markpersonalen kopplar ur markströmmen.

Kapten slår på bränslepumparna (Fuel pumps Aft 1 On och Aft 2 On) och väntar på att lågtryckslampan (Low pressure) ska slockna. Därefter slår han på hydraulpumparna på elektrisk drift (Hyd pumps Elec 1 On och Elec 2 On). De får gå på APU-ström tills vidare eftersom huvudmotorerna inte är igång ännu och kan driva dem. Slutligen slår han på APU Bleed (Bleed APU On) för att leda luft från APUn till huvudmotorerna för att spinna upp dem så att de kan börja tända och på så sätt starta.

Markkontrollen anropar på radion att markpersonalen håller på att göra klart för pushback, dvs de backar fram den stora, låga traktorn som ska ta tag om noshjulet och putta flygplanet bakåt tills det står mitt ute på parkeringsplatsen. Förberedelserna syns genom vindrutan.

”Markkontrollen anropar på radion att markpersonalen håller på att göra klart för pushback”

Nästa checklista: Before start checklist to the line (alltså fram till den streckade linjen i listan). Kapten frågar:

BEFORE START	
Fuel	_ TONS, 4/6 PUMPS ON
Passenger signs	ON
MCP	V2_, HDG__/LNAV, ALT _
Autobrake	RTO
Takeoff speeds	(V1)_, (VR)_, (V2)_
CDU preflight	COMPLETED
---------- CLEARED FOR START ----------	
Anti collision light	ON
Doors	LOCKED
Windows	*LOCKED (L+R)*

– Checklist to the line, please.
– Fuel?
– 5700 kilos, 4 pumps on. (Alla bränslepumpar är på.)
– Passenger signs?
– On. (Skylten ”Fasten seat belt” är påslagen.)
– MCP Auto thrust ARM, speed 140, heading 186, LNAV, altitude 5000 feet. (alltså den nödhöjd vi talade om tidigare.)
– Check!
– Autobrake?
– Rto. (vi har redan tidigare ställt automatbromsen till att hjälpa till med full broms vid avbruten start.)
– Takeoff speeds?
– V1 133, Rotate 134, V2 140 (se Avsnitt 2)
– Check!
– CDU preflight is completed.
– Checklist to the line completed.

PUSHBACK

– Fråga tornet om det är klart med pushback, bordrar kaptenen.

Styrman byter radiofrekvens till tornfrekvensen 118,500 MHz. Det finns två andra tornfrekvenser också, nämligen 125,125 och 128,725, men de används när man står på andra ställen på flygplatsen. Styrman trycker på sändknappen.

– Stockholm, Scandinvaian 060, we are ready for pushback.
– Scandinavian 060, pushback is approved,
– Pushback approved, Scandinavian 060.
– Checklist below the line, please.
– Anti collision light?
– On (stroboskopljuset under flygplanet blinkar.)
– Doors?
– Doors are locked. (Det ser man på de nio dörrlamporna på Overhead Panel.)
– Checklist completed.

Kaptenen släpper nu parkeringsbromsen, vilket noteras av traktorföraren som börjar knuffa flygplanet bakåt.

Nu visar det sig hur bra Swesims flygsimulator är. När vi börjar tryckas bakåt av pushback-traktorn infinner sig den stora illusionen. Trots att simulatorn är orörlig gör det utmärkta sceneriet och det tillhörande motorbruset att man riktigt känner hur planet gungar lite och Gate 34 avlägsnar sig. Det är uppenbart att en riktig, rörlig simulator skulle ge en ännu mer övertygande upplevelse, men undertecknad besitter god fantasi och har inga problem att känna pirr i magen. Perspektivet är utmärkt och det är nästan skrämmande att se sig omkring och uppleva all annan trafik som taxar förbi på Arlanda.

Styrman börjar med att förbereda flygplanet för start genom att stänga Left och Right Pack Switch (värmeväxlarna) vilket tillfälligt stänger av varmluften från motorerna till luftkonditioneringen, för att man behöver allt lufttryck man kan få i startögonblicket. Under de kommande minuterna får passagerarna andas ouppvärmd luft.

MOTORSTART

Overhead panel i nattläge.

Nu börjar det bli dags att tända huvudmotorerna. Motorerna har dubbla tändsystem, kallade vänster och höger, men man använder bara ett av dem omväxlande för att förslita dem jämnt. Vänster tändsystem i motorerna aktiveras (Engine start Ign L).

Markpersonalen meddelar nu att det är klart att starta motorerna:

– Left and right is clear, cleared to start engines.

Kapten säger:

– Start engine number two please.

– Starting number two, svarar styrman och slår omkopplaren Engine Start för motor 2 till läge Gnd. Det är dock upp till kaptenen att bestämma när bränslet ska slås på. En jetmotor måste komma upp i varv innan man kan börja spruta in bränsle. Jetprincipen fungerar inte om motorn står stilla. Starten går till så att man blöder av luft från APUn och blåser in denna i huvudmotorn, för att ”blåsa” igång motorn. Samtidigt studerar man mätaren för högtrycksturbinens varvtal på Multi Function

Display och när varvtalet nått cirka 24% av fullvarvtal kan man släppa på bränslet. Kaptenen drar på bränslekranen för motor två och eftersom tändstiftet gnistrar kontinuerligt tänder bränslet omedelbart och man ser hur utgångstemperaturen ökar, lågtryckskompressorn kommer upp i varv och hydraultrycket ökar.

(En jetmotor har åtminstone två fläktpaket. Lågtryckskompressorn sitter först och drar in uteluften och komprimerar den till ett tryck som passar vid brännkamrarna. Lågtryckskompressorn är den stora fläkt man ser framtill i motorn. Efter lågtryckskompressorn kommer högtryckskompressorns första fläktblad, som sitter på samma axel som turbinen. Hettan från det förbrända bränslet får den insugna luften att expandera våldsamt och den kastas bakåt, där den träffar turbinen, som i sin tur sätter mera fart på högtryckskompressorn. Därefter kastas luften ut ur motorn baktill, vilket ger dragkraften. Det är på högtryckskompressorns axel man monterat elgeneratorer, hydraulpumpar med mera, via en vinkelväxel. Vid start blåser man igång lågtryckskompressorn, varvid högtrycksdito givetvis snurrar med av bara luftströmmen. Inte förrän farten på luften är tillräckligt hög sprutar man in bränsle, annars kunde en flamma så ut framåt också. Temperaturen bak i motorn, Exhaust Gas Temperature, börjar stiga efter ett tag. Luftens fart inne i motorn måste alltid hållas så hög att expansionen sker bakåt, trots att det också är hål framåt. Det kan bli svårt när lufttrycket sjunker, men det kompenserar motorstyrningen för. Se vidare http://www.idg.se/2.1085/1.192846/reaktionsmotor-12---bade-vacker-och-stark)

Kapten säger:

– Start engine number one please.

– Starting number one, svarar styrman och gör om samma procedur för den andra motorn. Det tjuter till och man hör att varvtalet i motor nummer ett ökar.

Nu stänger styrman av APUn, eftersom den inte behövs längre, och slår på Probe heat för att hålla pitorören fria från is.

Kaptenen sätter höjdrodertrim för start, då snurrar trim-hjulen till det förinställda värdet 5.

Styrman slår om Packs till Auto och Isolation valve till Auto (se nedan).

Samtidigt är pushbacken helt klar och vi står med nosen riktad ut mot taxibanorna. Traktorn har kopplats loss och kört undan och markpersonalen gör tummen upp. Vi vinkar tillbaka. Det är nu dag för nästa checklista.

– Before taxi checklist, please.

– Before taxi checklist.

– Generators?

– On. (Generatorerna på huvudmotorerna genererar nu strömmen.)

– Probe heat?

– On. (Pitotrören förvärms.)

– Anti-Ice?

– Not required.

– Packs?

– Auto. (Luftkonditioneringens värmeväxlare sköter sig själva.)

– Isolation valve?

– Auto. (Luftkonditioneringens korskopplingsventil sköter sig själv.)

– Engine start switches?

– Continuous (Tändsystemet står i läget för kontinuerlig drift. Man stänger aldrig av tändningen.)

– Recall?

– Chcked right side, and checked left side. (Man kollar att Master Caution-systemet fungerar genom att tända alla varningsflaggor snabbt och se att de tänds, följt av att kolla att alla släcks igen.). Check.

– Engine start levers?

– Idle detent (Bränslekranarna är öppna.)

– Stabilizer trim?

– Set to 5 units (höjdrodertrim står på 5, enligt färdplanen.). Check.

– Transponder?

– Set.

– Flight controls?

– Checked.

– Ground Equipment?

– Clear (Ingen och inget står i vägen för flygplanet på marken.)

– Cabin clear?

– Recieved. (Kabinpersonalen har rapporterat att alla sitter ned med bältena på.)

– Checklist complete.

TAXI

Styrman trycker på sändknappen:

– Stockholm, Scandinavian 060. We are ready for taxi.

– Scandinavian 060, Stockholm. Taxi to holding point runway 19R, Y9 is available. (Taxibanans tvärgata Yankee Niner.)

– Roger. Taxi to holding point 19R, full length, Scandinavian 060. (Vi vill gärna ha hela startbanans längd.)

– Scandinavian 060. Roger.

Kaptenen tänder taxiljuset.

Samtidigt följer styrman med på arlandakartan för att se att man inte kör fel. Framför oss kommer en annan (simulerad) SAS-maskin med namnet Scandinavian 2680 från höger och korsar vår bana. Tornet ber den andra maskinen att vänta för att vi ska kunna passera. Realismen i simulatorn är övertygande. Den andra kärran är stor. Mycket stor. Men inser omedelbart vad som skulle hända om någon av oss inte såg upp och bromsade. Vi fortsätter ut över Zäta Gustav och åt höger, upp längs taxibana Yngve.

– Yankee check. (Vi befinner oss på taxibanan Yngve.)

Simulationen är fullt tillräcklig för att åstadkomma rysningar. SAS2680 får order att fortsätta taxa, bakom oss. Man kan titta åt höger och se hela Arlanda och Sky City ligga utsträckt i nattbelysning. Tornet är också lätt

att känna igen. Taxningen fortgår i 12 knops GPS-hastighet. Vi passerar nu avfarten till taxibana Xerxes och startbana 08. Nästa checklista.

– Before take-off checklist, please.
– Flaps
– Five, green light. (Klaffarna är ute till 5 graders vinkel eftersom vi behöver mer lyftkraft i starten.)
– Cabin?
– Notified. (Kabinpersonalen har blivit varnad att det är dags för start genom att plinga med seat belt-skyltarna.)
– Cecklist complete.

Man slår på transpondern när man närmar sig banan för att tornet skall se att man är redo samt att man själv på Navigation Display skall kunna se att inget annat flygplan ligger på inflygning på samma bana man ställer upp på. Dubbelkolla alltid vad tornet ger för tillstånd! Vår Navigation Display visar ett annat flygplan på taxibanan som också har sin transponder på. Det visas som en liten romb.

Efter ett tag har vi nått banänden på bana 19R som markeras av en linje röda ljus. Man ser alla inflygningsljusen som står upp som långa rader av ljusa pinnar ur åkermarken bortom banänden. Vi stannar vid en sk wigwag som blinkande anger att vi inte får passera utan godkännande från tornet.

– Scandinavian 060. Wind 250 degrees, 9 knots. You are cleared to take off.
– Cleared for take-off. Scandinavian 060.

START

Nu är det klart att starta. Vi rullar ut och ställer upp oss mitt på startbanan, tänder landningsljusen och riktar nosen längs mittljusen. Eftersom det är styrman Viktor som startar (”pilot flying”), överlämnar kaptenen (”pilot monitoring”) styrningen till honom med ordern:

– Your controls.
— My controls.
– Redo?
– Jag är redo för start.
– Take-off thrust. Styrman drar upp gasen till 40% pådrag och aktiverar Auto Throttle som ger rätt gaspådrag för starten. Motorerna ökar i varvtal, dånet ökar och flygplanet skakar. Bankantsljusen börjar röra sig bakåt och farten ökar. Det är nu man upplever den där härliga känslan av att tryckas bakåt i stolen av accelerationen. När farten nått avsedda 133 knop börjar planet att lätta och vid 134 knop drar styrman åt sig spaken och marken försvinner raskt under oss.
– Positive rate of climb?
– Gear up!
– Gear up selected.

Styrman håller kvar ratten i magen, vi rör oss upp genom luften och Arlanda försvinner nedåt till vänster. Märsta dyker upp till höger. Gaspådraget minskas något.

– Stockholm, Scandinavian 060. 1500 feet climbing.
– Scandinavian 060, radar contact, climb FL100.
– Climb FL100, Scandinavian 060.

– After take-off checklist, please.
– Altimeters?
– Standard, showing 4800 feet. (vi är på väg mot 5000 fot, där vi ska hålla oss ett tag.)
– Packs?
– Auto. (Luftkonditioneringens värmeväxlare sköter sig själva.)
– Engine bleeds?
– On (Luftkonditioneringens värmeväxlare får varmluft från motorerna.)
– Landing gear?
– Up and off. (Inga varningslampor för landställen.)
– Flaps?
– Up, no lights. (Inga varningslampor för klaffarna.)
– Checklist completed.

Navigationsskärmen visar att vi nu navigerar automatiskt utefter de brytpunkter vi programmerat tidigare, enligt utflygningen RESNA4G. Vi har just passerat SA706 och är på väg mot SA702.

Nu styr autopiloten helt och hållet. Trimrattarna snurrar av sig själva, rattarna och automat-gasen rör sig. Det är en fråga om sekunder, så har vi passerat nästa brytpunkt. När planet passerar 10.000 fots höjd kontrollerar kapten att kabintrycket är på väg nedåt i lagom mån.

Vid 12.000 fots höjd har vi vind från vänster, 309 grader 39 knop. Ungefär som i denna bild, som dock är tagen vid ett annat tillfälle.

Här kommer en fullständig förklaring av Navigation Display:

Vinden kommer från 322 grader, blåser 69 knop och

vår TRK MAG är 351 grader.

Det vita strecket är vår bäring..

Den vita, stående triangeln är flygplanet, vi själva.

Den lila stjärnan RUSUT är vår nästa brytpunkt.

Den gröna cirkeln T/D anger Top Of Descent, när datorn anser att vi bör sjunka mot Sundsvall.

Siffran ”20” intill kursstrecket är NDs totala räckvidd i nautiska mil.

Den böjda skalan är kompassen och har följande symboler:

Vit triangel visar vår kurs, alltså vart nosen pekar.

Lila ”M” är magnetisk kompasskurs.

Grön avlång pil anger riktningen till navigeringsfyren som tas emot av VOR1.

Grönt ”Y” anger riktningen till navigeringsfyren som tas emot av VOR2 (åt andra hållet).

Texten RUSUT 2036.1Z 4.5NM anger att vår nästa brytpunkt är RUSUT. Vi kommer att vara där klockan 2036,1 Zulu (GMT eller UTC) och avståndet dit är 4,5 nautiska mil.

VOR 1 är den första NAV-mottagaren och den lyssnar på Arlandas VOR/DME kallad ARL som är på 76,3 NM avstånd, medan VOR 2 lyssnar på Sundsvalls VOR/DME kallad SUN som är på 97,2 NM avstånd. Det förra avståndet ska öka stadigt, medan det senare ska minska i samma mån.

På Navigation Display kan piloten med ett ögonkast se om flygplanet befinner sig på rätt ställe och flyger åt rätt håll, precis som han med ett ögonkast på Primary Flight Display kan se att flygplanet ligger korrekt i luften, flyger med tillåten hastighet osv.

PLANFLYKT

Under hela flygningen lyser stjärnhimlen klart över flygplanet och på marken under oss flyter Sveriges städer fram i sakta mak. Eller, det bara som det ser ut. Farten över marken är 312 knop eller 578 km/t.

– Mina damer och herrar, detta är kapten Daniel Mattsson på denna SAS-flygning SK 060 som ska ta oss från Stockholm Arlanda till Sundsvall Midlanda. Flygningen beräknas ta cirka 50 minuter.

Det är väl ungefär det enda som kaptenen brukar säga till passagerarna. Allt det andra som passagerarna hör i högtalarna, står kabinpersonalen för.

Ungefär nu lämnar vi Arlandas terminalområde och måste säga adjö till dem på radion.

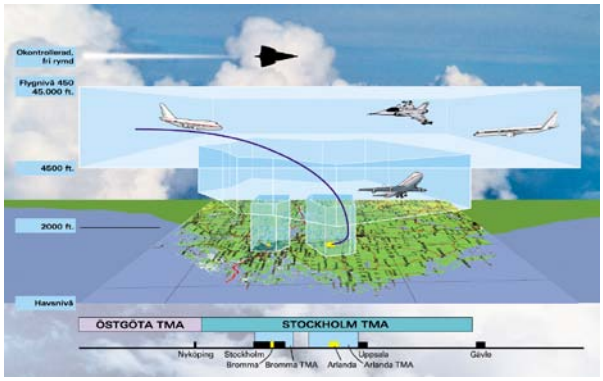
– Scandinavian 060, contact Sweden on 118,4. Godkväll.

– 118,4, Thank you and goodnight, Scandinavia 060.

”Sweden” är övervakningen för det svenska luftrummet utanför Arlanda. Vi får order att ta kontakt med dem på angiven radiofrekvens.

Nu är det lugnt. Nu kan piloterna beställa kaffe och diskutera allehanda saker som inte hör till flygningen. Med mullrande motorer styr vi mot Sundsvall på 26.000 fots höjd utan att egentligen anstränga oss alls. Trimrattarna rullar lite då och då och vår framfart kan följas på Navigation Display.

Här kan det vara dags att titta lite på hur det svenska kontrollerade luftrummet är beskaffat.



Luftrummet är indelat i en mängd kontrollzoner, varav den här bilden bara visar några: Arlanda, Bromma, och Stockholms terminalområde (TMA, Terminal Management Area). Området mellan 0 och 2000 fot är hårdbevakat och sköts av varje flygplats. Mellan 2000 och 4500 fot är det lite tunnare mellan flygplanen, men området är fortfarande kraftigt bevakat. I skiktet mellan 4500 och 45.000 fot (FL450, 15000 meter) går de långväga rutterna mellan länderna. Den blå linjen visar hur en inflygning från södra Europa går till. Över 45.000 fot är rymden okontrollerad och man får flyga hur som helst. Vissa moderna trafikflygplan flyger faktiskt här uppe (och även spionplanen...). Utanför kontrollzonerna under 4500 fot (1500 meter) är luften också fri. Där flyger privatflyget, sportflygarna och segelflygarna. Observera ”tunneln” mellan Arlanda och Bromma TMA, avsedd för sportflygarna.

Det händer inte mycket förrän vi börjar närma oss Sundsvall cirka 40 minuter senare.

Kontrollen (Sweden) ber oss kontakta Sundsvall-

stornet som har ansvar för hela terminalområdet runt Sundsvalls flygplats.

– Scandinavian 060, contact Sundsvall on 129,55. Hejdå.

– Sundsvall on 129,55. Hejdå. Scandinavian 060.

Nu ropar vi upp Sundsvallstornet på 129,550 MHz och anger aktuell höjd, flight level 150, att vi är på väg ned mot FL 100 och ska mot OKLEV.

– Sundsvall tower godkväll. Scandinavian 060 FL150 descending FL100 inbound OKLEV.

– Scandinavian 060, Sundsvall god kväll, radar contact, descend FL070.

– Descend FL070. Scandinavian 060.

Tornet ber oss sjunka till flight level 70.

När vi börjar närma oss Sundsvall går piloterna igenom all data inför landningen, inflygningsväg, bana, väder, hydraultryck, radiofrekvenser osv. De ger autopiloten nya inställningar. De informerar varandra om hur klaffarna ska ställas in vid landningen, om man ska använda automatiskt broms eller ej. I detta fall vill styrman bromsa manuellt.

Så var det återigen dags för en checklista.

– Descent checklist, please.
– Pressurization?
– Landing altitude 0 feet, check.
– Recall?
– Chcked right side, and checked left side (Återigen en kontroll av Master Caution-systemet). Check.
– Autobrake?
– Off.
– Landing data?
– Vref is 143, Minimums 250 feet barometric.
– Approach briefing?
– Discussed.
– Checklist completed.

Nu vaknar kommunikationsradion till liv och levererar en automatisk meteorologisk rapport för Sundsvall: ”Sundsvall ATIS Bravo, ILS approach runway 34, winds 320, 7 knots, CAVOK, QNH 1005, Sundsvall ATIS Bravo”. Det skiljer sig inte mycket från den TAF vi fick före start. Kapten och styrman går igenom den meteorologiska rapporten för att de båda ska vara överens om vädret.

När vi kommer närmare flygplatsen kan det vara dags att ta en ny titt på Navigation Display.

”Gulbrun terräng är mitt framför oss och måste undvikas. Vi närmar oss söderifrån längs en havsvik.”

Parametrarna är desamma som i förra bilden men nu har terrängvisnigen EGPWS tillkommit. Vi är fortfarande den vita triangeln i nederkanten av bilden och vår kurs är 338 grader (TRK MAG). Terrängen är grön på de ställen den är mer än 500 fot under oss och är ofarlig. Gulbrun terräng är mitt framför oss och måste undvikas. Vi närmar oss söderifrån längs en havsvik. Vår nästa brytpunkt är också färdens slutpunkt RWY34 på 3,7 NM avstånd. Det betyder att vi på denna skärmbild redan passerat ILS:ens yttre markör som ligger på 4,2 nautiska mil från landningsbanan. Notera också den lilafärgande kursen som fortsätter åt vänster efter landningsbana. Det är kursen mot fyren Bacchus som vi måste ta om landningen skulle behöva avbrytas. Jämför med anflygningskartan.

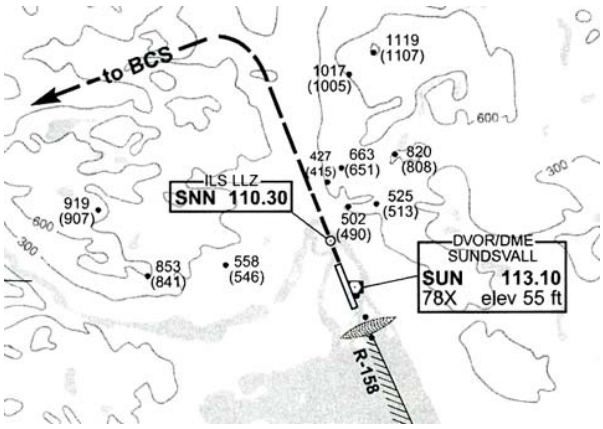


Illustration: LFV. Detta får ej betraktas som operativ information.

LANDNING

Nu ser vi banan och det börjar bli en smula spänt i kabinen.

Det sista före landningen, som till största delen är automatisk, är en ny checklista som ska säkerställa detta.

– Approach checklist, please.
– Altimeters?
– QNH 1005 showing 2800 feet.
– Checklist complete.

Kaptenen ger inte särskilt många order till besättningen under färden. Som passagerare märker man det mest när kapten beordrar kabinpersonalen att spänna fast sig inför landningen, med ord som:

– Cabin crew, take your seats for landing.

Så säger alla piloter i alla västländer för att det inte ska råda någon tvekan om vad besättningen ska göra, oavsett deras modersmål. Men kaptenen säger inte:

– Cabin crew, arm slides and cross-check.

utan det där med kontrollen av de uppblåsbara rutschkanorna är en sak enbart för kabinpersonalen.

– One thousand, säger Ground proxomity warningsystemet och syftar på höjden i fot.

Vi dyker ned längs glideslope på 3 grader. ILS-markörernas pipsignaler hörs inte. Ljudet är avstängt eftersom det inte behövs i moderna flygplan.

Näst-näst sista checklistan:

– Landing checklist, please.
– Engine start switches?
– Continuous. (Tändnigen är nu på kontinuerligt eftersom läget är kritiskt.)
– Cabin?
– Notified. (Kabinpersonalen har fått order att sitta ned.)
– Speed brake?
– Armed, green light.
– Landing gear?
– Down, three green lights.
– Flaps?
– Green light.
– Landing checklist completed.
– Five hundred, säger GPWS.
– Minimums, säger GPWS. Vi har nu nått beslutshöjd där vi ska avgöra om vi skall landa eller inte. Ser vi inte banan i det här läget måste vi avbryta och gå mot Bacchus.
– One hundred, säger GPWS, så nu är det bara 30 meter kvar till marken. Banan är otrevligt nära. Jag hugger tag i kaptenens stolsrygg. Thirty! Twenty! Ten!

Vi tar i banan i en ovanligt fin landning. Tja, vad kan man förvänta sig av en stationär simulator? Flygplanet gör som autopiloten säger. Luftbromsarna fälls ut. Reverseringen går på för fullt och hjulen bromsar. Farten sjunker raskt. Vi stannar till sist på banan halvvägs längs banan.

Kapten, som är den ende som kan styra på marken, vänder nu planet för vidare taxning in mot terminalbyggnaden, medan styrman gör ett antal inställningar som ska göras efter landningen, såsom att fälla in klaffarna, stänga av transpondern, slå av Pitot Heat så att pitotrören inte skall överhettas.

Här rullar vi fram över taxibanan på väg mot terminalen. Vi har fått Gate 4 oss tilldelad och närmar oss väldigt sakta, med lågt gaspådrag och stannar till sist när kaptenen trampar på markbromsen. Hän lägger också i parkeringsbromsen.

Markpersonalen är framme med navelsträngen och piloten slår om från huvudmotorernas generatorer till markkraft. På så sätt undviker vi att köra APUn alls och sparar miljö och bränsle.

– Shutdown checklist, please
– Fuel pumps?
– Off.
– Probe heat?
– Off.
– Hydraulic panel?
– Set (som betyder att den är inställd för situationen.

Oftast stänger man av de elektriska pumparna.)
– Flaps?
– Up.
– Parking brake?
– Set.
– Engine start levers?
– Cutoff. (Bränslekranar av.)
– Transponder?
– Standby.
– Shutdown checklist complete.

I och med att APUn är av och huvudmotorerna varvar ned blir vi tvungna att ta växelströmmen utifrån. Flygplanet ska nu försättas i säkert läge, alltså ett läge som vi kan känna igen nästa gång.

– Secure checklist, please.
– IRSs?
– Off (Lasergyrona ska vara avstängda.)
– Emergency exit lights?
– Off.
– Window heat?
– Off (Fönstret behöver inte längre vara förvärmt.)
– Packs?
– Off. (Tilloppen till luftkonditioneringens värmeväxlare stängs.)
– Secure cheklist complete.

Piloterna vrider nu ned ljusstyrkan på panelerna, stänger av takbelysningen och stänger av all extern matningsspänning. Flygplanet övergår till batteridrift.

Man tar av sig säkerhetsbältena, släcker efter sig i kabinen, reser sig och går ut genom främre dörren.

DISKUSSION EFTER LANDNING

Efter avslutad flygning måste färdplanen avslutas genom ett meddelande till Luftfartsverket. Sådant sköter flygbolagens datorer automatiskt. Vi måste meddela det till VATSIM-nätverket.

– Stockholm-Sundsvall på 50 minuter, det var ganska bra? menar piloten Daniel.

– Det är bäst hittills, svarar styrman Viktor.

”Efter avslutad flygning måste färdplanen avslutas genom ett meddelande till Luftfartsverket.”

OM SWESIM

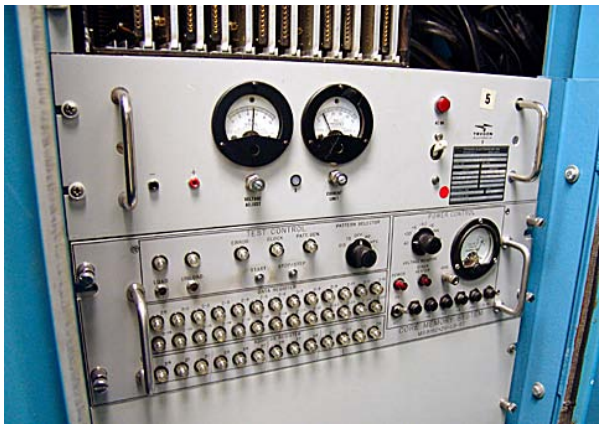
Flygföreningen Swesim håller hus i en före detta värmecentral i Årsta. Där finns fyra olika flygsimulatorer av olika typer. Den mest avancerade är ett exemplar av Försvarets Viggensimulator. En alldeles riktig, med vibrationer.

Det stora projektet just nu är att försöka restaurera en Drake. Hyllorna i elektronikrummet är fulla med diverse Draken-materiel.

Godishylla

Nästa stora projekt är att ta hand om Fokker-28-simulatorn som hittills stått hos Oxford Aviation Academy på Arlanda. Det är en ”riktig” simulator med hydraulisk rörelse, tillverkad av Link, det företag som började med flygsimulatorer en gång i tiden, med den så kallade Link Trainern.

Det här är F-28-ans instrumentpanel. Notera att det enbart sitter järninstrument i Fokkern.



Styrdatorn till Fokkersimulatorn är ett antikt monster med kärnminne, som det ska bli mycket spännande att få återkomma till och kika på mera i detalj.

Swesim ställer upp med sina simulatorer vid exempelvis firmafester, svensexor och så vidare och har dessutom då och då spännande föreläsningar som hålls av flygfolk, stridspiloter eller meteorologer. Stolarna i hörsalen är flygstolar förståss. Visst vill du ta en tur med Viggen, och braka fram över landskapet och skrämma folk och få? Det går bra. Anmäl dig bara hos Swesim.

AVSLUTNING

När du nu tagit dig igenom alla procedurer för att flyga ett trafikflygplan kan du sitta lugnt i flygstolen och vänta på att det berömda meddelandet ska ropas upp i högtalarna:

– Finns det någon pilot bland passagerarna?

Du kan räcka upp handen i trygg förvissning om att du läst på.

Visst tycks flygning mest bara vara tråkig rutin, men piloterna får alltså visa sin skicklighet vid starter och landningar. Beröm gärna en pilot som landat snyggt. Bland piloter gäller visserligen regeln att ”en bra landning är en landning som man kan gå ifrån”, men en snygg landning förtjänar att uppmärksammas.

I övrigt är jag väldigt tacksam mot Swesims Daniel Mattsson som gjort ett stort jobb med att kolla artikelns dryga 120.000 tecken och få alla procedurer så verklighetstrogna som möjligt.

LÄS MER

Swesim: www.swesim.se
Om Swesims Boeing 737: www.swesim.se/proj_b737.php
Om Boeing 737: http://en.wikipedia.org/wiki/737-800
Grundinstrumentering: http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_instruments
EFIS, Elektroniska flyginstrument: http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_flight_instrument_system
Vikt och balansberäkningar med Topcat: www.topcatsim.com
Ruttplanering med vRoute: www.vroute.net
Luftfartsverket: www.lfv.se
Färdplaner lämnas in på: http://www.lfv.se/sv/FPC/
Handboken IAIP finns på:http://www.lfv.se/sv/FPC/IAIP/
Flygspårning: sv.flightaware.com, www.flightradar24.com
VATSIM, flygledning på Internet: www.vatsim.net
Flygspårning på VATSIM: vataware.com
Om flygledning och flygspråk: Back in the A.T.C.C. Nätverk & Kommunikation 2006-12
Om sekundärradar: http://www.idg.se/2.1085/1.91378
ICAO: http://en.wikipedia.org/wiki/ICAO_airport_code
IATA: http://en.wikipedia.org/wiki/IATA_airport_code

GRUNDDATA OM FLYGPLANET

Boeing 737-800 eller 737 NG
(New Generation, efter 737-600)
Tillverkningsland: USA
Tillverkare: Boeing Commercial Airplanes
Första flygning: 9 februari 1997
Producerad från: 1996 till dags dato
Antal byggda: 3687 i juni 2011
Passagerarantal: ca 180
Vingbredd: 35,7 meter
Marschfart: 828 km/t
Maxhöjd: 41.000 fot
Motorernas dragkraft: 121 kN x 2
Räckvidd med full last: 5700 km
Fullständiga specifikationer finns på: http://en.wikipedia.org/wiki/737-800#Specifications

OM FLYGSPRÅKET

Flygspråket är som en värld för sig. En flygare har rätt att använda landets språk, eller engelska vart han än kommer i världen. Franska ska visst kunna användas också, men det utlöser mest oroliga huvudrörelser om man frågar en flygledare. När väl det är etablerat gäller det att stånga sig igenom en mur av förkortningar och sedan gnaga sig igenom anropsprocedurerna, som är mycket strikt definierade. Det är gjort så för att man ska kunna eliminera alla dubbeltydigheter och för att alla ska säga samma sak.

SIFFROR OCH BOKSTÄVER

Man kan inte säga ”hundratjutre” till flygledningen. Namn och tal bokstaveras alltid. Man säger alltså ”Sigurd Kalle Adam Bertil Cesar ett två tre”, eller ”Sierra Echo Alpha Bravo Charlie one two three”. Siffran nio är intressant eftersom den sägs ”nio” på svenska men ”niner” på engelska, för att inte förväxlas med ”five”.

MÅTTENHETER

- Alla hastigheter anges i knop (KTS eller KT = knots)
- Alla höjder anges i fot (ft), där en fot ungefär är 30 centimeter. 10.000 fot är ungefär 3 kilometer
- Höjd är på engelska altitude (ALT) och saker och ting på marken befinner sig på en viss elevation (ELEV). Elevation räknas alltid över Mean Sea Level (MSL)
- En särskild typ av höjd är flygnivån, flight level, som anges i hundratals fot
- Alla avstånd anges i nautiska mil (NM). 5 nautiska mil är ungefär 10 km.
- Försvaret, såväl det svenska som amerikanska använder dock höjder i meter. Upplagt för konflikter.
- Massa anges dock i kilo (kg) för att man inte ska bli helt tokig som pilot!
- Riktningar anges som vänster (LT) och höger (RT)
- Verkliga eller fiktiva fixpunkter i naturen kallas FIX. De används ofta som brytpunkter (waypoint). Fixpunkterna har fiktiva namn som RESNA, BABAP, BAKIR, DETMO, PEVEL, DUNKER osv, men kan vara verkliga platser som TROSA, AROS osv.

Flygplatser har flera olika internationellt överenskomna namn.
Arlanda har det tekniska namnet ESSA enligt ICAOs benämning, medan det heter ARN för oss vanliga pax, alltså den förkortning som skrivs ut på biljetter och liknande. ES betecknar Sverige och SA råkar vara den ordningskod som Arlanda fick. SB är Bromma och NN är Sundsvall.

TIDER

Tider anges i Zulu (z) som är Greenwich-tiden, UTC. På så sätt undviks förvirring med tidszoner och sommartid.

RUTTER

Det finns färdigplanerade, optimerade flygvägar som man bör följa. De kallas för STAR (Standard Route). När man ska iväg från en flygplats finns en färdig procedur för utflygningen fastlagd på en karta som kallas SID (Standard instrument departure).

HÖJDER

Flyghöjd anges som sagt i fot. Vid höjder över 5000 fot övergår man dock till flygnivåer (flight level), där en flygnivå uttrycker etthundra fot. Tiotusen fot skrivs alltså som FL 100 och 35.000 fot skrivs FL 350.

NAVIGERING

ILS, GP, OM, MM, IM: Instrumentlandning, dvs en landningsprocedur som utförs genom att man följer en pekare på instrumentbrädan, styrs av ett system kallat Instrument Landing System. ILS skickar upp en lutande radiostråle längs inflygningen kallad Glidepath, som man ska följa. Avståndet till banänden anges av tre markörfyrar kallade Outer Marker, Middle Marker och i vissa fall även Inner Marker.

Squawk är ett annat namn på transpondern för sekundärradar, egentligen ett militärt kodnamn från radarns begynnelse. På denna ställer man in en fyrsiffrig kod, transponderkoden (squawk code)

ORDLISTA

A/P: Autopilot
A/T: Autothrottle, automatiskt gasreglage, del av autopiloten
ADF: Automatic direction finder, instrument som visar riktning till VOR, NDB etc
AIP: Aeronautical information publication, en faktasamling med information för luftfarten om flygplatser mm.
APU: Auxilliary power unit, liten jetmotor längst bak i planet som bara används som elgenerator och för att blåsa igång huvudmotorerna
ARR: Arrival, ankomsttid
ATIS: Automatic terminal information service, automatiskt vädermeddelande som sänds ut från en flygplats på radio
BARO: Barometriskt lufttryck
CAVOK: Ceiling and visibility OK, klart väder, god sikt.
CDU: Computer display unit, gränssnitt mot FMC
DEP: Departure, avgångstid
DME: Distance measuring equipment, en radiofyr man kan navigera mot och också mäta avståndet till
EFIS: Electronic flight indication system, de elektroniska flyginstrumenten
EGT: Exhaust gas temperature, jetstrålens utgångstemperatur
EICAS: Engine indicating and crew alerting system, bildskärmarna för motor- och systemdata, kallas även MFD
ETA: Estimated time of arrival, uppskattad ankomsttid
FMC Flight management computer, navigeringsdatorn
G/S: Glide slope, glidbanan vid landning
GP: Glide path, samma som G/S
GPS: Global positioning system
GS: Ground speed, farten över marken
IAS: Indicated airspeed, den hastighet gentemot luften som utvinns direkt ur pitotröret, se TAS
IFR: Instrument flight rules, instrumentflygutbildning, där man inte behöver kunna se marken
ILS: Instrument landing system
MCC: Multi crew cooperation, kurs i samverkan mellan två piloter
METAR: METeorological Aerodrome Report, en lista med väderobservationer vid olika flygplatser
MFD: Multi Function Display, bildskärmarna för motor- och systemdata, kallas även EICAS
MSL: Man sea level, havsytans medelnivå
NDB: Non directional broadcast, en äldre typ av radiofyr som man bara kan veta riktningen till. Ett åldrigt hjälpmedel som håller på att försvinna. NDB-fyrarna (Non-Directional Broadcast) som sänder på långvågen är inte längre ett krav i alla länder. Många moderna flygplan har inte längre någon NDB-mottagare, men för svenska privatflygare är en sådan mottagare fortfarande ett krav. En del fyrar har dock redan försvunnit även i Sverige.
NM: Nautiska mil
NQ: Night qualification, pilotutbildning för nattflygning så man ser marken, tillägg till VFR
PFD: Primary flight display, huvudflyginstrumentet
QNH: (QNHelge) lufttrycket vid marken. Morsekoden för lufttrycket, användes väldigt tidigt i flyghistorien
TAF: Terminal aerodrome forecast, flygplatsväderprognos
TAS: True airspeed, sann, beräknad hastighet gentemot luften vilken kräver invecklade beräkningar
TCAS: Traffic collision avoidance system, ett kollisionsvarningssystem baserat på transpondersvar
VFR: Visual flight rules, pilotutbildning för flygning så man ser marken, normalt för privatflygplanspiloter
VOR: VHF omnidirectional range, en radiofyr man kan navigera mot
FL: Flight level, flyghöjden i fot delat med 100
SID: Standard instrument departure: utflygningsväg
STAR: Standard approach route, inflygningsväg
V1-fart: Farten då man måste lyfta eftersom planet annars inte hinner stanna före banänden
VR-fart: (rotate) Farten då man kan börja stiga.
V2-fart: Bäst fart för fortsatt stigning.

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

”Att flyga är att leva” skaldade en gång den svenske flygofficeren Gösta Norrbohm i titeln till sin flyghistoriska bok om Drakar och Viggar som jag nästan läste sönder under min ungdom (Bra Böcker, 1975). Den var heroisk och vacker och skildrade det svenska flygvapnets utveckling och insatser. Jag skulle vilja omskalda det hela till ”Att flyga är att överleva”. Och överlever gör man genom att planera, följa regler och låta andra veta hur man tänkt och vad man tänker göra.

”Örnungar”, ”Hot Shots”, ”Top Gun” med flera filmer avspeglar inte verkligheten ett endaste dugg. Flygledning fungerar heller inte lika slumpmässigt eller med samma usla redundans som i filmerna ”Airport” eller ”Die Hard 2”. Tvärtom. Gräver man sig ned under ytan är det oerhört mycket mera spännande än vad en film någonsin kan erbjuda. Så värst mycket utveckling har inte skett sedan artiklarna skrevs – flygledning är fortfarande att anropa, få svar, be om ny flyghöjd, få godkänt, sätta transponderkod och så vidare. Allt för att pilot och passagerare ska överleva.

Nej, flygledning inte är beroende av neurotiska hjältar som i filmerna, men ett färskt problem har dykt upp som regelverket hittills inte kunnat rå på: självmordsbenägna piloter. Där har myndigheterna något nytt att bita i.

Vad som dock har hänt rent tekniskt sedan artiklarna skrevs är att flygplanen blivit betydligt mera elektroniska, vilket leder till nya problem, till exempel generatorstyrenheter som får blåskärm på grund av en skenande upptidsräknare (tinytw.se/planebug), eller människor som åtminstone påstår att de kunnat hacka sig in i flygplanets styrsystem (tinytw.se/planehack – frågan är om det är sant), eller det franska transportplanet Airbus A400M som störtade i Spanien på grund av att filer i motorstyrenheterna skrevs över felaktigt (tinytw.se/planskrivfel).

Flygning är och förblir spännande!

Snabbare kontroll. Ilane är Smiths idé om den nya, strömlinjeformade bagagehanteringen på flygplatser.

Så blir du genomskådad!

Medge att du tuggar lite nervöst på fingrarna när din väska åker in i röntgenapparaten på flygplatsen. Ska den slinka igenom? Eller glömde du slagsvärdet i den trots att du kollade så noga? Och hur tolkar man bilderna som personalen alltid gör sitt bästa för att du inte ska få se? **Text och foto: Jörgen Städje**

Nu ska du få se bilderna, för vi har gjort ett besök hos Scanacon Security AB i Arlanda stad och lättat på förlåten. Scanacon är generalagenter för det brittiska företaget Smiths Detection, vars gråblå apparater återfinns på i stort sett varenda flygplats i världen.

– Tro inte att säkerheten i bagagehanteringen höjts bara på grund av att det smällde i USA, säger Johan Porseryd, servicechef på Scanacon.

Det var bestämt långt innan. Före 2001 röntgades 25 procent av handbagaget inrikes och inget av det incheckade. Efter 2002 röntgas allt bagage.

Scanacon började med metalldetektorer redan 1982, men säljer sedan 1992 en tysk kvalitetsröntgen från Smiths Heimann, lite av röntgenapparaternas Mercedes.

Principen är ganska enkel. Ett röntgenrör med anod och katod strålar ut en 160 kilovolt (0,6 milliampere strålström) röntgenstråle i ett plan tvärs över rullbandet som matar fram väskorna. En slitsbländare (kollimator) nära röntgenröret ser till att strålen blir till en en millimeter tjock ”skiva” som går tvärs igenom godset.

Strålen träffar en 45 x 45 centimeter lång L-formad endimensionell fotodiodsensor (linescan-sensor) som scannar en rad med 1 920 bildpunkter på fem millisekunder. Bandet matar fram godset med 20 centimeter per sekund och när det farit förbi ”röntgenskivan” har det blivit genomlyst.

En inspektion lämnar efter sig en dos på 1,8 mikrosievert, det vill säga betydligt mycket mindre än en tandröntgen (5 mSv),

En modern bagageröntgen kan ...

- **... se väskorna** ur upp till fem vinklar samtidigt,
- **... känna igen atomvikten** på det genomlysta,
- **... själv bedöma hotbilden** och växla ut farligt bagage på ett sidospår för ytterligare röntgen,
- **... i framtiden** vara nätverkskopplad och tredimensionell.

men det är trots det inte tillåtet att åka igenom själv, även om det finns de som har provat.

Videon som kommer ur scannern digitaliseras till 14 bitars upplösning, samlas upp och görs om till en ständigt löpande bild på en 1 280 x 1 024-monitor. Bilden rullar fram lika snabbt som bandet och kan stannas upp när man vill studera något extra noga.

Metaller färgas blått

En gammaldags svartvit negativ röntgenbild är ganska ansträngande att se på. Den ursprungliga videons 4 096 nivåer falskfärgas därför med 256 för ögat lätt urskiljbara färger, så att operatörerna ska tåla att titta på den hela dagen och lätt känna igen olika material. Smiths kallar metoden för hi-mat. Olika densiteter ges olika färg så att det ska vara lätt att känna igen till exempel trä, vatten, plåt, koppartråd och så vidare. Är operatören osäker kan han eller hon välja en annan färgskala som återger föremålet bättre.

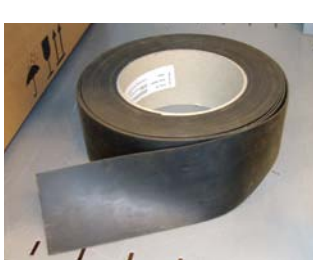
Anledningen till den höga upplösningen är att man använder dubbla sensorer med olika känslighet. Det ger möjlighet att dela in det genomlysta materialet i tre klasser och färga därefter. Atomnummer mellan 0 och 10 (lätta, organiska material) färgas **orange**, nummer mellan 10 och 18 (blandmaterial) **grönt** och 18 och 40 (metaller) **blått**. Tyngre material visas som svart.

Ytterligare bildförbättring

Funktionen x-act är ett hjälpmedel för att hitta ett visst ämne, till exempel sprängmedel. Genom att prova med olika material, som knark och sprängmedel, har man fått fram deras exakta tätheter. X-act kan larma för just dessa tätheter genom att rita en ram runt dem. Vill man ha exaktare analys än så får man ta till en jonanalysator, alltså kemisk analys.

Varumärkena sprudlar. Med bildförbättring enligt Hitrax, i princip kantskärpning, kan utrustningen visa trådar ned till en diameter på bara 0,08 millimeter. Dessutom kan man öka kontrasterna för att få fram tunna material. Vari-mat innebär att man undertrycker höga nivåer av till exempel organiska material (tjocka väskor) eller byter kontrast för att det ska vara lättare att urskilja tyngre material.

Den smarte tänker då att han ska skydda sin pistol från upptäckt genom att stoppa in den i en stållåda, så att lådan blir svart på bilden. Bortsett från att operatören inte går på det, aktiverar systemet automatiskt hi-spot som exponerar upp svarta områden och avslöjar de små gradationer som ändå finns. Det fina är att bara högtäta områden förstärks, medan områden runt omkring med lägre densitet fortfarande visas med god bildkvalitet.



Blygummirem på rulle för reparation av blyförhängen.

Är nallen oskyldig?

Haha, lilla nalle, snart ska du grillas! På högra fotot har vi gjort en sak som skulle få flygplatspolisen att komma rusande omedelbart: vikt upp blygummiremmarna som hänger ned som strålskydd. Nallen ligger precis vid springan där strålen går igenom.

Vår batterinalle bildförbättrad med Hitrax.

> "Det är inte tillåtet att åka igenom själv, även om det finns de som har provat."

Bomber testar operatören

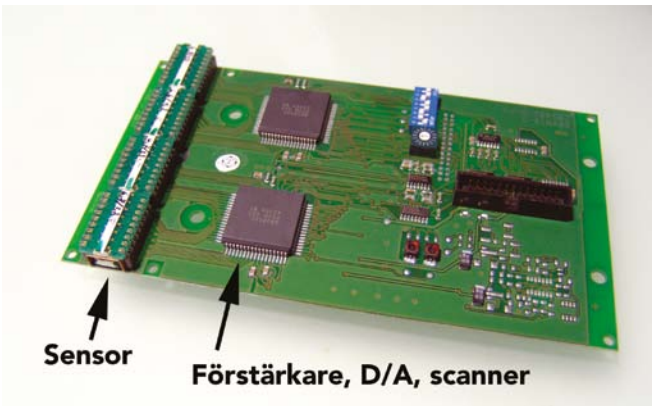
För att inte operatören ska sitta och slöa till kan funktionen hi-tip då och då sätta in fiktiva bilder av bagage med hotfulla objekt som operatören ska känna igen och larma på föreskrivet sätt. Ännu lömskare blir det när hi-tip börjar projicera farliga objekt mitt i verkligt, ofarligt bagage. Alla de vanliga bildförbättringsfunktionerna fungerar som vanligt, så operatören misstänker inte något. Det finns ett helt bildbibliotek med hotfulla väskor och objekt som man kan skicka på ovetande operatörer.

– Det här används för att hålla koll på operatören och se till så att han klarar att hitta knivar, bomber och pistoler och se vilka han har missat, vilket kan leda till mer utbildning, säger Johan Porseryd.

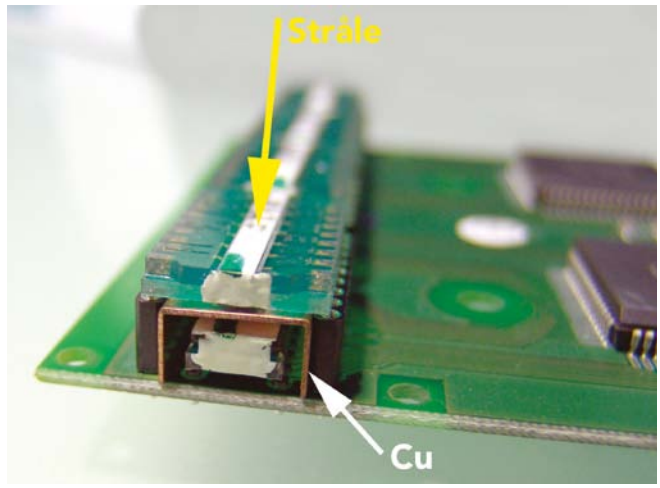
Femplansröntgen

Man måste ständigt hitta snabbare metoder, helst automatiska, att sortera ut misstänkta väskor. Problemet med att titta på bagage i ett enda plan (one view) är att saker kan ligga ovanpå varandra och skymma och då får man ta ut väskan och vrida den lite och titta igen. Det tar tid. Moderna scanners är "dual view" med strålar i

Röntgenröret är en klump på 60 kilo.



Lysande kristall. Här är sensorn, en linjesensor med totalt 1 920 fotodioder med cirka en millimeters mellanrum. Ovanpå fotodioderna ligger en scintillatorkristall som lyser upp när den träffas av röntgen. I och med att strålen är en "skiva" på en millimeter får bilden en upplösning av en millimeter per pixel.



Tydliga konturer. Sensorn är uppbyggd i två lager. De översta dioderna träffas direkt av strålen, men för att komma till det undre lagret måste strålen först gå igenom de övre sensorerna och sedan en skärm av tunn kopparplåt. De övre sensorerna träffas av strålens fulla styrka och ger full kontrast för "tyngre" material och blir överstyrda av "lättare" material. De skärmade sensorerna ger full kontrast för "lättare" material, varefter signalerna slås ihop på elektronisk väg. Metoden ökar kontrastomfånget betydligt, vilket möjliggör att man kan se konturerna på en tygnalle och patronhylsorna i en pistol samtidigt.

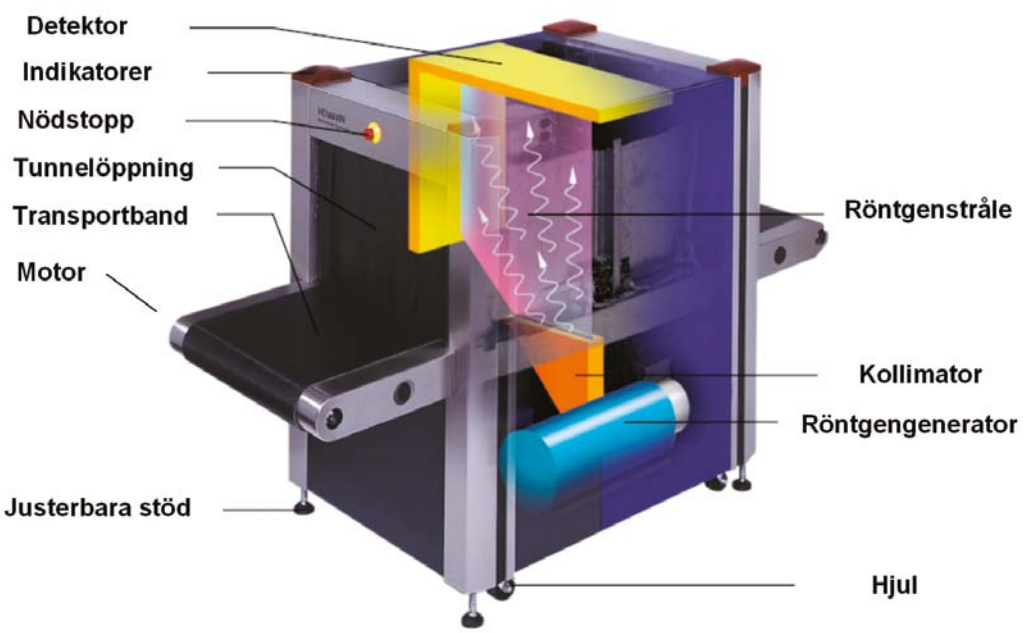
två plan. Det eliminerar mycket av arbetet med att behöva vända och vrida på väskan. Det som skyms i ett plan skyms normalt inte i det andra.

Naturligtvis vore det bäst om man kunde göra fullständig 3d-röntgen på bagaget, men i väntan på att datorerna blir snabbare får man klara sig med femplansröntgen.

Med röntgen i fem plan är det inte mycket som slinker undan. Moderna röntgenapparater för incheckat bagage och bagagecontainrar har en öppning på hela 1,8 x 1,8 meter och matningshastighet på 0,5 meter per sekund. Med en mängd väskor på varandra är fem plan av nöden om man ska få upp farten.

Utvecklingen går mot att man röntgar i två steg. Första steget avgör om det finns något misstänkt i väskan över huvud taget och om det inte gör det kan den bara gå vidare. I annat fall växlas den in på ett sidospår.

Det tar för närvarande flera minuter att bygga upp en fullständig tredimensionell tomografisk bild av en resväska. Det går inte fortare på en flygplats än på ett sjukhus, där det tar lika lång tid att skiktröntga en skalle. Det har man inte tid med när det måste strömma igenom en väska per sekund. Scannertillverkarna låter sig inte nöja med detta utan jobbar mot att få ner tomografitiden till ett par sekunder. Efter det kommer det att bli mycket svårt att slinka igenom med farligt bagage.



Genomskärning. Principen för röntgenapparaten med röntgenröret i botten och sensorn upptill.

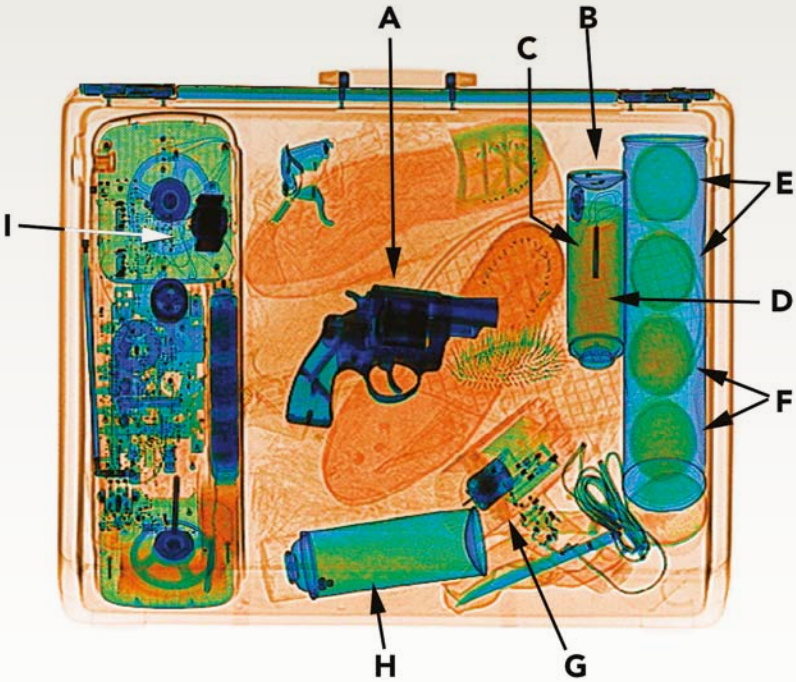
Fordonsröntgen

Tullen kan röntga hela lastbilar i ett svep. Röntgenutrustningen ser ut som en båge som förs över bilen med jämn hastighet. Metoden används främst för att hitta insmugglade människor i containrar och för att stävja smuggling. En van operatör ser en otillåten vara, missiler, knark eller vad som helst på en gång.

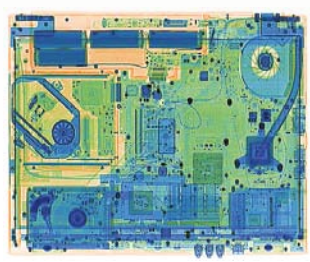
Dessutom ger bildbehandlingsprogrammet hjälp med att hitta förbjudna ämnen. En särskild klass av ämnen är radioaktiva metaller, som är populära att föra ut ur mindre nogräknade länder. Sådana hittar man på grund av att de har mycket höga atomnummer och framträder svart oavsett hur mycket strålning man använder. Därför är det lätt att hitta även mycket små mängder.

Smiths anläggning Ilane är framtiden för handbagageröntg-

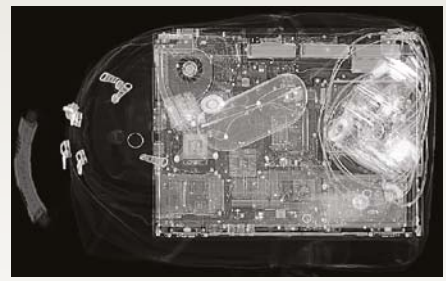
Så tyder du säkerhetskontrollens röntgenbilder



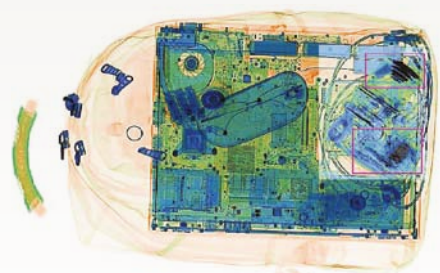
Farlig väska. Här är bagagepersonalens mardröm:
A) den gängse pistolen,
B) en sprayburk med fel innehåll, nämligen
C) en utlösare och tändhatt med ledare och
D) misstänkt tungt innehåll.
Därefter ett rör med fyra tennisbollar varav
E) två tomma och
F) två fyllda med något,
G) en hårtork där du ser motorn och elektroniken,
H) en fylld sprayflaska där du kan se blandningskulorna och
I) en vanlig bergsprängare där det svarta antingen kan vara nättransformatorn eller dolt radioaktivt material.



Pc. Så här ser den bärbara datorn ut ensam. Det är lätt att se (den halvtomma!) batteripacken, hårddisken och processorfläkten.



Svartvitt. Här ser du en fullstoppad ryggsäck i den klassiska svartvita röntgenvyn. Den är svårtydd och rörig.



Färg. Kodad med hi-mat ser samma väska ut så här. Funktionerna x-act och hi-spot har hittat linserna i kameran som är av blyhaltigt glas och omöjliga att röntga (överst) och batteripacken som består av nästan bara nickel (underst) och markerat dem. Bilden är fortfarande för rörig. Det är inte underligt att man måste dela upp bagaget. Kristallglas går inte att röntga över huvud taget!

Tom. När det mesta är ute ser väskan ut så här. Kvar är bara datorns nätaggregat.

gen. Smith har tittat på var tidsfällorna sitter och arbetat bort dem. Med en Ilane-anläggning kan man komma ned till en sekund per väska, vilket skulle korta kötiderna vid säkerhetskontrollerna på alla internationella flygplatser oerhört.

Maskinen inte bara röntgar i flera plan, alla rullband är dessutom motoriserade och misstänkt bagage växlas ut på ett sidospår där det körs fram till en tjänsteman, medan ofarligt bagage fortsätter rakt fram och kan hämtas upp med en gång.

Bilden på det misstänkta ser tjänstemannen på en liten bildskärm över undersökningsbordet. En kamera tittar på alla plastbackar och när de är tömda körs de ner på ett rullband som tar dem tillbaka till utgångspunkten.

Snabbare kontroll

Redan i dag har man på större flygplatser alla röntgenmaskiner i ett nätverk där man loggar maskinernas driftsstatus, men nästa generation har även bildavläsningen nätverkskopplad. Operatören har flyttats bort från golvet och sitter vid en bildskärm i ett kontrollrum. Om passagerarflödet inte är så högt kan en operatör sköta flera röntgenapparater samtidigt. Dessutom har mycket av bedömningsarbetet tagits över av datorer.

Hoten ökar och det gör även passagerarströmmarna. Ilanes industriella princip förväntas både förkorta passagetiderna och minska behovet av personal. Alla blir glada.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör. Han bloggar på techworld.se/jorgen och nås på jorgen.stadje@techworld.se.

Så går du vidare

» Scanacon Security: **www.scanaconsecurity.se/hs6040.asp**
» Smiths Detection: **www.smithsdetection.com/eng/index.php**
» Beginner's guide to X-ray imaging: **www.3dx-ray.com/pdfs/3dx_begin_gd_uk_f_0107.pdf**

Alla länkarna finns klickbara på **techworld.se/lankar**.

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

Utvecklingen går inte alltid jättesnabbt. Bagageröntgen går till på precis samma sätt nu, som när artikeln skrevs. Jag har inte verifierat det själv, men tydligen använder man numera tredimensionell röntgentomografi vid genomlysningen av det incheckade bagaget.

Det enda andra stället där någon form av nytänk har börjat användas är avsökning av passagerarna själva, med terahertzvågor (tinytw.se/terapraktiskt).

Hur bra det är vet jag inte. Det kommer motsägande rapporter hela tiden. Det enda man med säkerhet kan säga är att säkerhetskontrollerna blir allt långsammare.

Folk packar ned alla möjliga dumma grejor i kabinbagaget och tror att det inte ska synas. I maj var det en man från Elfenbenskusten som packat ned en levande 8-årig pojke och trodde att han skulle kunna ta sig igenom säkerhetskontrollen i Spanien (tinytw.se/ivorycase). Givetvis åkte han dit.

REDAKTÖR FREDRIK BERNSEL, bernsel@idg.se

JAS 39 Gripen – ett datoriserat under

Jakt-, attack- och spaningsplanet Gripen är inte bara ett högkapabelt stridsflygplan. Elektroniken, datorerna och kommunikationsmöjligheterna tillhör något av det mest intressanta man kan tänka sig.

Av Jörgen Städje

Piloten drar på efterbrännkammaren och en blå låga slår ut med ett vrålande som hörs flera kilometer. ”Klart, starta” lyder ordern från tornet och när han släpper bromsarna tar planet ett skutt framåt. Han drar spaken åt sig, bara G-dräkten hindrar magen från att hamna nere mellan knäna.

Med en tryckvåg som nästan sliter taket av en liten stuga bryter han ljudvallen på väg mot fienden. ”Han har inte radarn på. Då ser han mig inte. Men jag ser honom!”

På den taktiska indikatorn kryper fiendeplanet allt närmare gränsen för robotens räckvidd och snart når det fram. Nu! ”Skjut” uppmanar Gripen lugnt och pilotens pekfinger gör en dödlig rörelse mot avtryckaren. Planet knycker till lite när AMRAAM-roboten släpper vingen och försvinner bortåt som ett vitt streck. Han följer den på bildskärmen.

”Den, du” tänker han när han ser ett eldklot flamma upp vid horisonten, som tecken på att roboten gjort sitt jobb. Han lägger planet i en brant sväng, för att själv undvika explosionen och flyger sedan lugnt samma väg tillbaka.

Linköping ett flygeldorado

Ett av de främsta resultaten av svensk ingenjörskonst, jakt-, attack- och spaningsplanet Gripen, är inte bara ett högkapabelt stridsflygplan med flygegenskaper som går utanpå det mesta. Även elektroniken, datorerna och kommunikationsmöjligheterna är något av det mest intressanta man över huvud taget kan få se. Det är Saab Aerospace i Linköping som är ansvarigt för att ha fört Sverige fram till flygteknikens yttersta framkant.

Gripen är ett så kallat flerrollsplan (jakt-attack-spaning) av fjärde generationen med mycket hög datoriseringsgrad.

Totalt innehåller planet cirka 40 datorer, som är sammanbundna med fem bussar med redundans. Såväl navigeringen som alla flygsystem är datoriserade. Radarbilder och alla annan information behandlas och silas elektroniskt innan piloten får se dem, för han har helt enkelt inte tid att behandla informationen själv. Planet kan snabbt anpassas för en ny hotbild genom att mjukvaran uppdateras.

Instabilt i luften

Även Gripens flygförmåga är helt beroende av datorernas hjälp. Planets smått fantastiska manövrering är baserad på att planet är instabilt i luften. Om inte datorerna kompenserade skulle planet stalla direkt, det vill säga flyga över sin förmåga, och falla som en tegelsten.

Ytterligare en förutsättning för JAS Gripens styrka är nätverket. I själva verket är det enskilda flygplanet bara en liten del i flera betydligt större datornätverk.

Ett resultat av detta är till exempel att alla Gripenplan kan dela radarbilder med varandra, eller få information från ett radarnätverk på marken. Kommunikationen sker vi en så kallad jaktlänk som är krypterad och helautomatisk. Jaktlänken är unik i världen.

Möjligheten för flera plan att dela radarbild är en mycket stor fördel i strid. Eftersom ett plan med påslagen radar lyser som en strålkastare på radarhimlen är det bra att kunna skicka upp flera plan, varav bara ett letar efter målet. Just det planet kan bli beskjutet av fienden, men det är med säkerhet inte det enda plan som kommer att skjuta tillbaka.

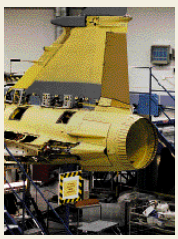
I och med att alla plan kan dela radarbild och annan information kan piloterna nämligen dela på eldgivningen mot olika mål.

Bättre än Hollywood

I moderna amerikanska stridsflygplan tvingas piloterna samtala via radio för att dela på mål, och för att inte beskjuta samma mål. Det må se fint ut på Hollywoodfilm, men det är ineffektivt i strid. I Gripen är det mera av datorspel. Målfördelning-

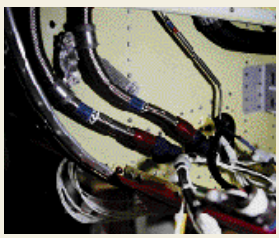
HÄR KOMMER INGEN IN – som inte säger sin kärastes namn. Jag sade ”Gripen” och fick komma in och se svensk högteknologi när den är som bäst!

KLINISK MONTERINGSHALL. Gripen massproduceras i en monteringshall som är så ren att den kan användas till balsal.



MONTERING. Här är det hantverk på hög nivå som gäller. Inga vanliga bilmontörer alltså.

DATASTAV. Data till och från Gripen transporteras i en datastav. Det är en aluminiumask full med halvledarminne som pluggas direkt in på nätverket i planet. Staven kan laddas med färdplan eller ny mjukvara.



EMI-SKYDD. Så här ska det se ut när man skyddar kablage mot elektromagnetisk störning.

”...en pilot kan fyra av mot ett mål han har sett från ett annat plan än sitt eget, om han har slut på sina egna vapen.”

en sker genom att piloten pekar och klickar på de mål han vill förstöra. Informationen visas omedelbart på de andras planens bildskärmar.

Det innebär till exempel att en pilot kan be en annan pilot att fyra av mot ett mål han har sett om han har slut på sina egna vapen. I och med att alla delar informationen är det inte konstigare än att en systemansvarig kan fjärrstyra en arbetsstation på ett kontorsnätverk och arbeta interaktivt med användaren. Det hela kan liknas vid en en vanlig videokonferens.

Marknätet ger besked

Även ett plan som står på marken kan vara med och se hur striden förlöper. När det sedan kommer upp i luften vet således piloten redan vad som behöver göras.

Dessutom kan planet få radarinformation från det svenska marknätet som är en del av systemet Flygvapen 2000. Information till detta kommer från andra stridskrafter, AWACS-planet Erieye (en Saab 340 med syntetisk radar på ryggen), markradar och så vidare.

Nätverket sträcker sig således långt utanför själva flygplanet.

Det nya stridsledningssystemet som innesluter hela Sverige i ett nätverk ska Försvarsmakten använda till att snabbt koordinera alla styrkor i händelse av anfall. Alla enheter är med i nätet: flyg, marin, markstridskrafter, radarstationer och informationsstridskrafterna. Alla data sammanställs och besluten fattas centralt i olika stridsledningscentraler som är placerade under jord för att vara svåra att slå ut. Då vill det till att nätet alltid fungerar och inte hänger sig.

Klarar hög belastning

Inuti ett Gripen-plan är det fullt med nätverksutrustning. Nätverken som används är av busstyp, och av kostnadsskäl är de dimensionerade till att ligga på en ständig belastning av mellan 40 och 60 procent. CPU:erna i avionikdatorerna är organiserade så att de kan belastas 80 till 95 procent.

Det är mycket svårt att hålla uppe detta höga belastningstal utan att riskera överbelastning, men på Saab är man mycket duktiga på hård tidsstyrning och vänder istället detta till sin fördel. Genom att man använder sig av en extremt noggrann realtidskontroll kan nätverket och och datorerna i princip inte överbelastas. Skulle en överbelastning ändå inträffa beror den på ett apparatfel. Systemet undersöker i så fall var felet ligger och backar tillbaka till ett konservativare driftläge utan överbelastning, så kallad ”graceful degradation”. Det kan betyda att planet förlorar i kapacitet, men piloten kan ända flyga hem utan problem.

Styrsystemet består av tre datorer som röstar om åtgärd och efter omröstningen väljs ett mittvärde bland de tre. Om fler fel skulle inträffa går systemet ned till en nödnivå, dock utan att stanna.

STYVA TEKNIKER. Saab Aerospace ställde upp med tre av sina bästa tekniker, personer som alla har varit med under hela utvecklingen av Gripen. Från vänster:
Dag Folkesson, specialist på robusta realtidssystem.
Stig Börstell – ansvarig för totalsystemet, tidigare ansvarig för kabinen, chef för avionikkontoret och för systemintegration och simulering.
Bo Frisberg, ansvarig för databussar, programmering, avionik, styrsystem och mjukvaran till GECU, ett analogt reglersystem för hydraul, bränsel och kylluft.
Ingen av herrarna ville bli kallade chefer, utan de ville som sanna tekniker titulera sig systemingenjörer.

Inget operativsystem

I Gripen används inget operativsystem som sådant, utan realtidshanteringen ingår i semantiken hos språken Pascal-D80 och Ada som styrsystemet är skrivet i. Den specialversion av Pascal som används har avancerade realtidsfunktioner och liknar i viss mån Ada.

Alla beräkningar körs i runburstar med olika tidsintervall (frekvenser) med en grundfrekvens på 60 Hertz (eller i vissa fall 120-240 Hertz). De processer som kräver snabb respons exekveras alltså 30-60 gånger per sekund, medan mindre krävande processer kan köras 15, 8, 4 eller 1 gång per sekund. Mindre betydande processer, till exempel svar på knapptryckningar i kabinen eller låsningar på mål, körs i bakgrund. Den mera avancerade styrdatorn kör med runburstar i alla dessa frekvenser på en gång – samt bakgrundshantering – i alla tre CPU:erna.

Systemet använder sig av pipe-lining för att klara den höga belastningen. Det vill säga en process exekveras, resultatet förs ut på bussen, varpå data bearbetas vidare i nästa dator. Dessutom körs sådana processer som kan dela data på något sätt alltid tillsammans. All datatrafik i hela flygplanet synkroniseras därför med hjälp av en central klocka på 60 Hertz.

MIL-STD 1553B-bussen

Det är knappast TCP/IP som strömmar runt i Gripen. När liv och död hänger på en millisekund måste det bättre grejor till!

I flygplan använder man sig med andra ord inte av nätverk av den typ som vi är vana vid från kontoret, utan det handlar om bussnät av typen MIL-STD 1553B (MILitary STandarD). På de senaste modellerna av Gripen har man visserligen infört lite Ethernet med TCP/IP också, för nedladdning av data som inte är tidskritiskt och för kommunikationen med datastaven, men i det stora hela är det redundanta bussnätverk som gäller.

MIL-STD-1553 brukar även kallas för ”Aircraft Internal Time Division Multiplex Data Bus, Revision B” och det är den vanligaste kommunikationsmetoden i militära flygplan. 1553-bussen består av en skärmad, partvinnad ledning och data överförs i så kallade meddelanden med en storlek på 2-64 byte. Vidare är bussen dubbelriktad och styrs med ett kommando/svarsprotokoll av en buss-styrare i Systems Computer som anropar när en enhet ska sända och som kontrollerar att överföringen gick bra.

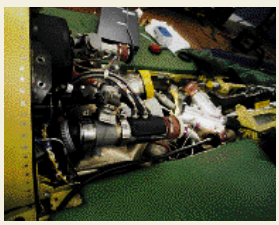
Hastigheten är i själva verket inte högre än en megabit per sekund, men med fem bussar är det fullt tillräckligt för Gripen.

Allt är dubblerat

I Gripen sitter det fem bussar – en grön, en gul, en röd, blå och en svart – med olika uppgifter (se systemöversikten på nästa sida).

Alla bussarna är dubblerade i en A- och en B-buss, för säkerhets skull. A- och B-bussarna ligger fysiskt åtskilda i flygplanet, och om en

VIDEOPLATTFORM. På den svarta, fjädermonterade plattformen strax bakom piloten monteras den videobandspelare som ska spela in hela flygningen. Den måste sitta fjäderupphängd, för ingen video klarar planets skakningar när kanonen avfyras.



KLIMATKONTROLL. Det röda tarmpaketet är luftkonditioneringen som ger kylning år datorsystemen och håller klimatet åt piloten.

KOMPONENTER. Radarn från Ericsson består av sådana här moduler, som skjuts in i planet.

SLITSAD RADAR. Så här ser radarantennen ut. Det är ingen parabol utan en platt så kallad slitsantenn.

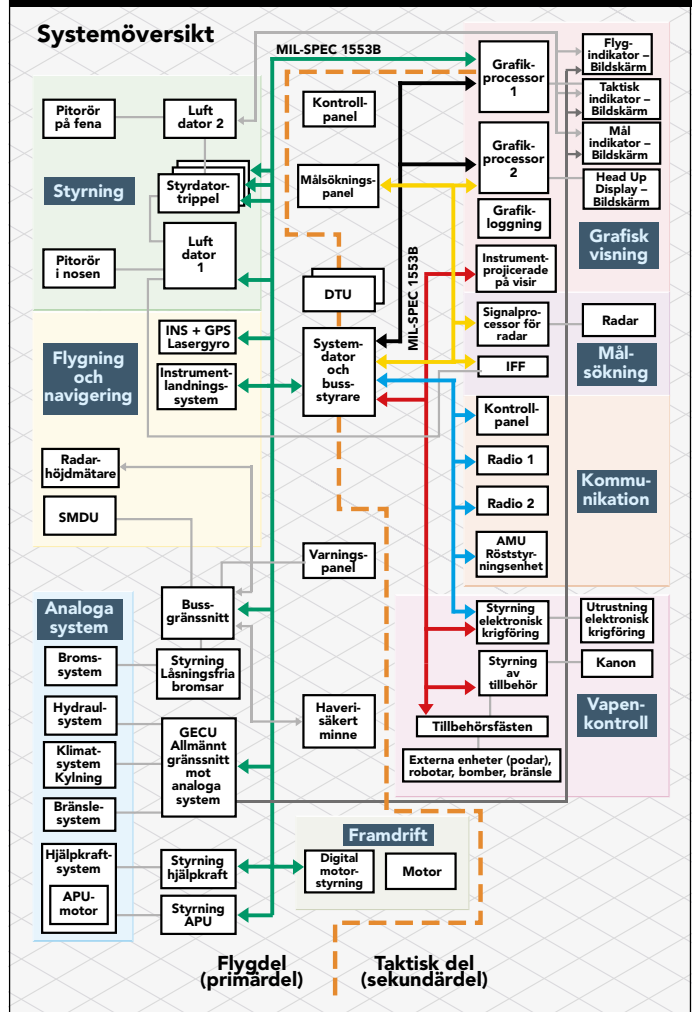
STYRDATOR. D96 (MACS) från Ericsson Microwave är ett robust, luftkylt system med bland annat PCI-buss, VME-buss, PowerPC-CPU, 64 MB RAM och halvledarhårddisk på 320 MB.

ORDLISTA

Elektronisk (och annan) krigföring

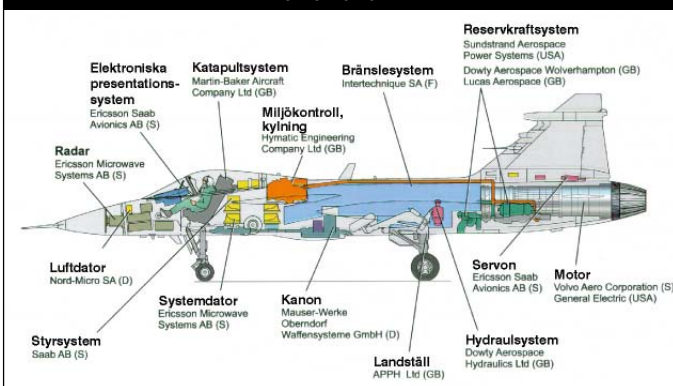
AMRAAM: En av de robotar som kan användas på Gripen för luftstrid. Radarmålsökande.
Attack: Air-to-ground, markanfall
AWACS: Airborne Warning And Control System, radarspaning med höghöjdsplan som också fungerar som sambandscentral. Saabs svenska Erieye är ett sådant plan.
COTS: Commercial Off The Shelf, kommersiellt tillgängliga komponenter är något militären tvingas ta till allt oftare, när budgetarna krymper.
ECCM: Electronic Counter-Countermeasures, elektroniska mot-motmedel i elektronisk krigföring, till exempel frekvenshoppande radar som inte kan störas eller bredbandiga störningar mot frekvenshoppande sändare.
ECM: Electronic Countermeasures, elektroniska motmedel i elektronisk krigföring, till exempel radarstörningar eller frekvenshoppande sändare.
EME: Electro-magetic Effects, se vidare EMI.
EMI: Electro-magnetic Interference, elektromagnetisk störning, extern eller intern påverkan på elektroniska system.
EMP: Electro-magnetic Pulse, pulsstörningar på elektroniska system, ofta av ganska stor amplitud, som åska, men för det mesta NEMP.
EW: Early Warning, elektroniska varningssystem av olika slag som kan varna tidigt för en fiendeattack.
EW: Electronic Warfare, elektronisk krigföring, informationskrigföring.
FLIR: Forward-looking infrared, värmekamera för flygning under natten. Visar en infraröd värmebild av området.
GPS: Global Positioning System, ett navigeringssystem för bl a flyg och sjöfart, som med hjälp av satelliter i bana runt jorden som ger mycket god precision, ner till 10 meter, även i höjdled.
HDD: Head-Down Display (på svenska indikator) flygplanets bildskärmar.
HOTAS: Hands On Throttle And Stick, piloten kan sikta, skjuta och flyga utan att ta händerna från gasreglage och styrspak.
HUD: Head-Up Display (på svenska siktlinjesindikatorn), ett sätt att visa alla viktiga data för en pilot (höjd, fart, fiendens position, kartbilder mm) på en genomskinlig skärm mitt framför ögonen, så han kan se ut och se instrumenten samtidigt.
IFF: Identification Friend or Foe, ett sätt att upptäcka om man ser en vän eller fiende på radarn. Normalt svarar den som bestrålas med den egna sidans radar med en kod som tolkas av målradarn, så beskjutning av egna styrkor förhindras.
ILS: Instrument Landing System, ett system för att underlätta landning, till exempel i dåligt väder eller mörker.
INS: Inertial Navigation System, tröghetsnavigering, navigering utan yttre hjälpmedel (som GPS och magnetisk kompass).
Jakt: Air-to-air, luftstrid
Maverick: En av de robotar som kan användas på Gripen för markanfall.
NEMP: Nuclear Electro Magnetic Pulse, EMP som härrör från en kärnsprängning, med förmåga att slå ut olika elektroniska system.
NWE: Nuclear Weapons Effects, effekter av kärnvapen, såsom tryckvåg, termisk strålning, neutron- och gammastrålning, samt NEMP. Neutronstrålning och kosmisk strålning kan bl a radera halvledarminnen.
NVIS: Night Vision, siktmedel och kikare med ljusförstärkare.
Pod: Tillbehörsbehållare som hängs under vingen. Kan innehålla kanon, bomb, extra bränsle eller FLIR-utrustning.
RWR: Radar Warning Receiver, radarmottagare som kan känna fienderadar och också identifiera typ av sändare, riktning mm
SAR: Synthetic Aperture Radar, en radar med syntetisk antenn som kan skicka ut strålar åt valfritt håll, flera på en gång, och följa flera mål samtidigt som den sveper av omgivningarna. Strålarna dirigeras elektroniskt. Reaktionstiden blir kort, noggrannheten stor.
Sidewinder: En värmesökande robot som kan användas för luftstrid.
Tempest: Standard för provning av tålighet mot NEMP.

BLOCKSCHEMA



FLYG OCH TAKTIK. Systemen i Gripen är indelade i en flygdel och en taktisk del. Skulle planet förlora elkraft och kylning kan man koppla bort delar av den taktiska delen och ändå flyga vidare. Enbart den gröna bussen hålls vid liv. Skulle ännu mer elkraft falla bort prioriteras de enheter som matar indikatorerna via de gråa ledningarna samt styrsystemet, det vill säga det allra minsta som piloten behöver för att kunna flyga hem. Även grafikprocessorerna kan falla bort.

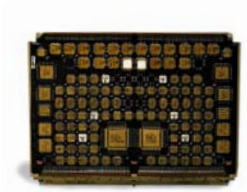
HUVUDSYSTEM



ETT HÖGTEKNOLOGISKT SKAL. Gripen är fylld med högteknologi, både vad gäller mekanik och elektronik. Konstruktionen är visserligen inte helsvensk, många detaljer köps in från exempelvis USA, England, Tyskland och Frankrike. Däremot gäller det att foga samman allt på ett sinnrikt sätt. Allt behöver inte nykonstrueras, SAAB har helt enkelt gjort en egen avvägning och valt att inte uppfinna hjulet igen. I stället har man köpt in färdiga komponenter med rätt kvalitet och fyllt behoven till ett pris som faller inom ramarna för budgeten. Större delen av elektroniken, fram för allt mjukvaran är emellertid svensk.

buss skulle bli sönderskjuten tar den andra över automatiskt

Det är av driftsäkerhetsskäl som man har delat upp systemen på fem bussar. Om planet skulle råka bli av med huvudgeneratorn, och tvingas ned på reservkraft eller tappa kylförmågan, måste man stänga av vissa enheter på de olika bussarna och prioritera den gröna bussen som hanterar grundflygplanet och primärfunktioner i avioniksystemet.



SKRÄDDARSYTT. Kretskorten i styrdatorn MACS är mycket kompakt uppbyggda med mängder av specialtillverkade kretsar.

Hur pratar man med en robot?

För att ge kommandon till jakt- och attackrobotar används enklast möjliga metod. Robotarna sitter placerade direkt på 1553-bussen och är en del av det övergripande kommunikationssystemet. De kan därmed uppfatta kommandon, och data från deras sensorer kan överföras till pilotens bildskärmar.

Gripen kan också tala med piloten. Om datorerna upptäcker en situation som behöver åtgärdas, till exempel inkommande robotar, för

”Gripen är också förberedd för röststyrning så att piloten ska kunna styra planet genom att tala med det.”

låg hastighet eller att piloten försöker göra något som planet för tillfället inte har kapacitet till, får piloten ett muntligt meddelande från flygplanet, till exempel ”Öka farten” eller ”Ta upp”. Planet kan använda olika röstlägen beroende på hur allvarlig situationen är.

Gripen är också förberedd för röststyrning så att piloten ska kunna styra planet genom att tala med det. Det sker via den blå bussen till AMU, Audio Management Unit.

Datastaven pluggas in

Innan piloten ger sig ut och flyger måste han göra upp en färdplan. Här anges vart man tänker flyga, hur fort, vad man ska angripa, radiofrekvenser och så vidare. Det kan bli en hel del data att överföra till flygplanets navigationsdator. I amerikanska plan måste piloten normalt sett knappa in denna information medan han sitter i cockpit, och planet står på marken sårbart för en attack.

Till Gripen knappas informationen i skydd inne på förläggningen. För ändamålet används en så kallad datastav (DTU, Data TransferUnit) som sedan pluggas in i planet så att man kan vara iväg på nolltid. Naturligtvis går det även bra att ändra färdplanen i efterhand. Det sker i så fall på bildskärmarna med peka-och-klicka-metoden – med styrspaken som joystick.

I datastaven lagras också färddata, så att uppdraget kan kontrolleras i detalj efteråt. Flygteknikern har en andra datastav som används för lagring av planets driftdata. Det är lättare att ta med sig staven än att behöva ansluta en extern PC och tanka ut driftdata. Datastaven används också för uppladdning av nya programversioner till ombordsystemen. Gripen kan således snabbt ändra arbetsuppgift och uppgraderas med ny mjukvara för att möta nya hot. På frågan om hur mycket data som kan lagras i datastaven blev svaret: ”Tillräckligt. Du kan få hur mycket du vill.”

Ett annat sätta att mata in färdplanen är att ladda upp nya uppdrag från marken. Det kan ske under flykt och piloten kan välja att acceptera eller avstå från uppdraget.

Elektromagnetisk störning

Gripen är också försedd med ett enastående skydd mot elektromagnetiska störningar. En av det moderna flygets värsta fiender är elektromagnetisk störning (EMI, Electro-Magnetic Interference). Det vill säga när elektromagnetiska vågor från radio, radar eller åska tar sig in i elektroniken och löser ut felfunktioner, eller slår sönder den.

Strålningsnivån på ett hangarfartygsdäck när all radar är igång är cirka 300 V/m. En vanlig konsument-PC slutar fungera om nivån överstiger 0,3 V/m. Tänk dig då strålningsnivåerna när man flyger igenom en radarstråle på en gigawatt! Då vill det till att datorerna inte kraschar.

Och det finns det som är värre. Nuclear Electro-magetic Pulse (NEMP) är något som militären ständigt måste vara på sin vakt mot. När en atombomb briserar sliter energin loss elektronerna kring atomerna i luften och detta genererar en elektromagnetisk puls som är så kraftig att den kan förstöra all elektronik på en halv kontinent. En NEMP-puls kan till och med ta sig igenom gängorna i en iskruvad skruv! Vad kan den då inte göra med en bildskärm i cockpit?

Svar: Ingenting! EMI-skyddet i Gripen är mycket väl utfört och planet är naturligtvis testat under svåra förhållanden. 1553-bussen är en vanlig kopparledning och sårbar för EMI, men EMI-folket som skapat Gripen har gjort sitt jobb ordentligt. Bilden på sidan 47 visar en jordning av en skärmad ledning i utrymmet för radarmodulen – och här det ord och inga visor!

Testar med kycklingar

Linköpingsingenjörerna kan vara stolta, men man ska inte tro att Gripen är helt svensktillverkad. Det har snarast handlat om att bygga ett skal och att integrera de rätta komponenterna på ett smart sätt.

Flygplanskroppen är naturligtvis svensk och därmed också allt arbete med aerodynamiken. Radar, vissa datorer, de datorgrafiska systemen är svenska och styrsystemen och motorn är åtminstone delvis svenskutvecklade. Det skiljer sig inte mycket ifrån hur man bygger upp andra datorsystem.

Om vi tittar på själva flygplanskroppen består huven av akrylat och är 26,5 millimeter tjock. Det är

KORT OM JAS

JAS 39 Gripen för kalenderbitaren

Flygplanet JAS 39 Gripen utvecklades mellan åren 1983 och 1987 av SAAB Military Aircraft. Utvecklingskostnaden låg på 15 miljarder kronor och produktionskostnaden på 48 miljarder. Utvecklingen fortsätter än idag, med mera avancerad avionik, färgbildskärmar och förbättrade styrsystem.

Mekaniska data

Spännvidd: 8,40 m
Total längd ensits: 14,1 m
Total längd tvåsits: 14,8 m
Total höjd: 4,5 m
Startvikt utan vapen: 7500 kg
Max startvikt: 14000 kg
Motorns dragkraft utan EBK: 54 kN
Motorns dragkraft inkl. EBK: 81 kN
Högsta hastighet: Mach 2
Räckvidd: Mer än 3000 kilometer (hela Sveriges längd och tillbaka)
Högsta G-kraft: 9G
Pris per styck: cirka 763 miljoner kronor

Elektroniska system

- Centraldator Ericsson SDS 80 (dator D80 programmerad i Pascal-D80 och Ada. Uppdaterad till D80E-dator under mitten av 1994 och till D96/MACS år 2000).
- Tre (senare fem) databussar enligt MIL-STD-1553B.
- Honeywells tröghetsnavigeringssystem med lasergyro, samt radarbestyckad höjdmätare.
- Luftdator från Nordmicro (tysk).

Instrumentering

- **Elektroniska visningssystem:** Ericsson Saab Avionik EP-17, med vidvinkel-HUD från Kaiser som visar en kombination av symboler och videobilder. Bildprocessorer PP1 och PP2, senare PP12.
- Tre högupplösta monokroma bildskärmar från Ericsson Saab Avionik på 120x150 mm (LCD-färgbildskärmar med aktiv matris på 158x210 mm under år 2000). Den vänstra ersätter alla normala flyginstrument, den mittre visar en datorgenererad karta över omgivningen med överlagrad taktisk information och den högra har flera olika funktioner, och visar bland annat målinformation från radar, FLIR och vapensensorer.

Radar

- Ericsson Microwave GMAv PS-05/A dopplerradar för målsökning och -följning (lookdown/shootdown).
- Elektroniska motmedel Radarvarnare, radarmotmedel från svenska Celsius Tech, bland dem chaff (radarstörande metallremsor) och värmefacklor, släpad motmedelsrobot för radar och radarstörning.

EN UPPVISNING I SVENSK FLYGKONST

MULLER OCH DÅN. När svensk teknik visar musklerna är det allvar.Gripen har en manöverförmåga utöver det vanliga och kommunikationen är unik i världen.

en redig bit. Orsaken till att den är så tjock är att den ska tåla fågelkollisioner i 1000 kilometer i timmen! Man provar det med en kycklingkanon, en apparat som skjuter (upptinade) kycklingar mot planet med hög hastighet. Huven kan dock deformeras en aning och en del av fågeln kan komma in som fågelfärs i ansiktet på piloten. Av den anledningen har man en så kallad fågelavbärarlist i huvens framkant, som ska rikta ned fågelfärsen i knät på piloten istället. Anekdoten om teknikern som glömde tina kycklingen först cirkulerar bland flygplanskonstruktörer. Rutan höll inte.

I en nödsituation kan huven sprängas i två delar, åt var sitt håll. Det fungerar för ensitsversionen, men i tvåsitsversionen är huven för lång för att splitter ska kunna undvikas. Strax före explosionen blåses därför en krockkudde upp framför andrepiloten så att splittret tvingas utåt. Också en svensk idé.

Att se ett datornätverk sammansatt av 40 datorer släppa på efterbrännkammaren och dundra iväg utmed startbanan så att det vibrerar i bröstet är en mäktig syn. Ställd inför denna kompakta samling högteknologi, konstruerad att fungera under hårdast möjliga krav, kan man inte annat än känna beundran för svensk ingenjörskonst.

För att vara utvecklat i ett så litet land som Sverige, till en så låg budget som 67 miljarder, ligga så långt fram i teknikens framkant och ha så enastående flygegenskaper, är Gripen ett unikum. □

Jörgen Städje *är data- och nätverksexpert. Han driver dataföretaget Qomputor Education Datasystem och frilansar för Nätverk & Kommunikation. Du når honom på jorgen@qedata.se.*

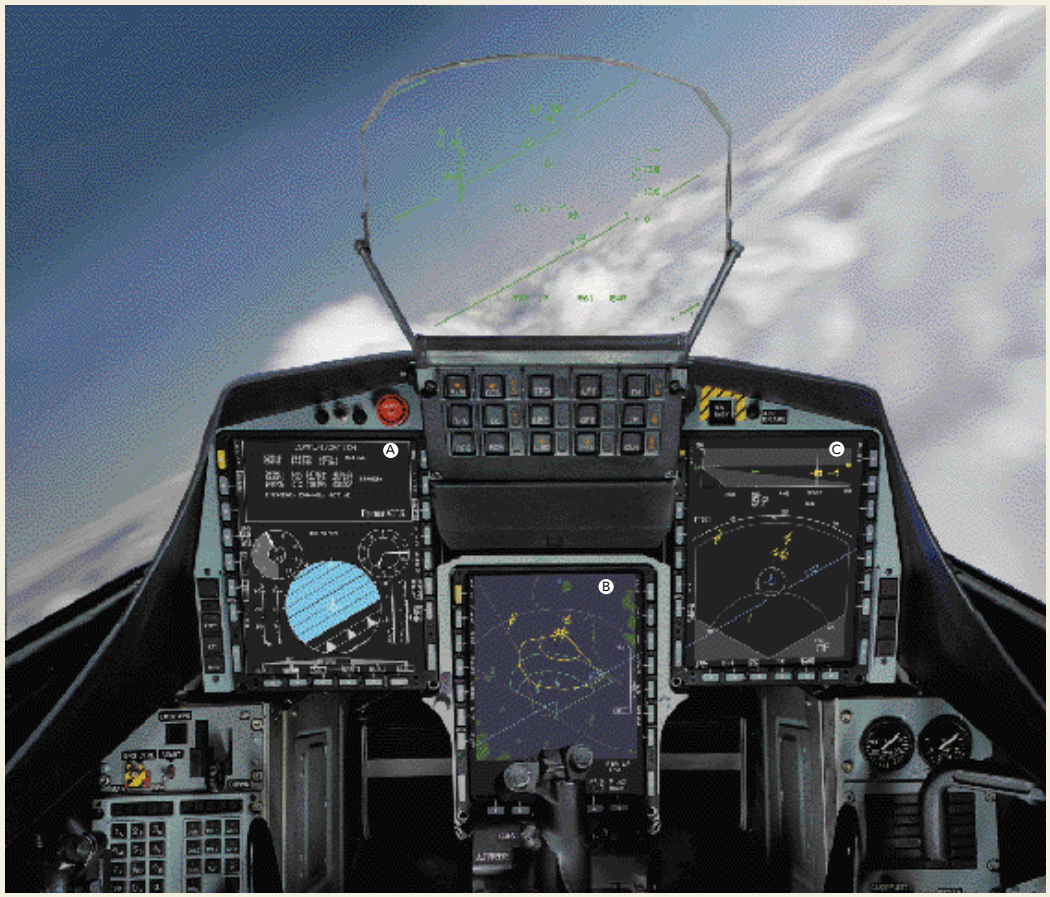
SÅ GÅR DU VIDARE

• Skaffa boken "**Faktaboken om Gripen**" (ISBN 91-630-7217-3), utgiven av Industrigruppen JAS AB. Massor med godis finns också på **www.gripen.se**.

• Vill du läsa mer om avancerade stridsflygplan rekommenderas boken "**Skunk Works**" av Ben Rich. Rich var chef på Lockheeds hemliga utvecklingsavdelning i Kalifornien under utvecklingen av spionplanen U-2 och SR-71 (Blackbird) och stealthbombaren F117A (Nighthawk) som gjorde en så fantastisk insats under Gulfkriget. Oerhört spännande!

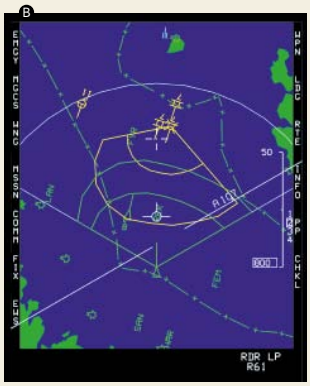
• JAS beskrivs ingående på Jane's All the World:s Aircraft webbplats på **http://www.janes.com/defence/features/paris/aircraft/gripen.html**. Jane's är en amerikansk informationsbyrå som publicerar data om alla kända flygplanstyper.

2000-TALETS INSTRUMENTPANEL

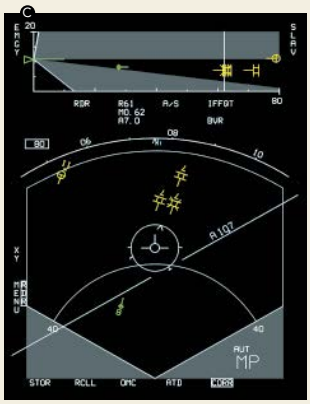


BÄTTRE ÄN DATASPEL. Så här kommer instrumenten att se ut i de Gripen-plan som levereras på 2000-talet. Här handlar det om avancerad visning av mångdimensionella data. Alla mekaniska flyginstrument (grundinstrumenteringen, skämtsamt kallade "järninstrumenten") är borta och visas istället elektroniskt på den vänstra skärmen. Mittskärmen visar en syntetisk karta över området. Skärmen till höger visar sensorbilder från exempelvis en radar. Innanför vindrutan sitter siktlinjeindikatorn (HUD) som visar piloten information som kan relateras 1:1 med den verkliga världen. De lutande linjerna visar konsthorisonten (jämför med molnen) och stigningsvinkeln (du ser planet stiga +18 grader), mittskalan är kompassriktningen (76 grader), högerskalan är höjden (10.750 meter), vänsterskalan är machtalet (0,92). Skulle planet förlora all växelspänning så kan vissa datorsystem slås av, bland annat datorgrafiken. Bildskärmarna innehåller egen nöd-elektronik som autonomt kan visa grundinstrumenteringen. Instrumenteringen kan visas på valfri bildskärm, så två av dem, vilka som helst, kan gå sönder och piloten ska ändå kunna flyga hem.

FLYGINDIKATOR. Piloten har tre bildskärmar till hjälp. Flygindikatorn visar de instrument som behövs för flygning. I fältet COMMUNICATION syns de radiokanaler som används. Det runda fältet är konsthorisonten som visar planets lutning och stigning. Till vänster om denna vindhastighetsmätaren (600 knop) med inlagt machtal (M 0,92) och till höger höjdmätaren (10 750 meter). Staplarna: α visar anfallsvinkel, G: G-kraft, THR: Thrust (gaspådraget), FUEL: bränsle.



TAKTISK INDIKATOR. En syntetisk karta med inlagda symboler. Den gröna triangeln längst ned är vi själva och den gröna sektorn är möjligt skjutområde. Den gröna triangeln märkt "8" är vår nyligen avfyrade robot. De gula objekten är fienden och deras skjutområde. Det ljusblå strecket är konsthorisonten. Den har inget med taktiken att göra. Märkningen "A 10,7" betyder Altitude 10.700 meter.



MÅLINDIKATOR. En översikt över stridssituationen med samma symbolik som på den taktiska indikatorn. Pilen på den krökta skalan vid 076 visar kompassriktningen. Överst syns samma sak, sett från sidan. Det gula objektet märkt "11" är en fienderobot. Det ljusblå strecket är konsthorisonten. Den är så viktig att den finns även på denna skärm.

GRIPEN OCH STÄDJE

PÅ COMPUTER WORLD EXPO 2000

Foto: Saab AB

Saab Aerospace kom upp med ett helt Gripen-plan och lyckades baxa in det i den 140 m2 stora montern. Vid sidorna kunde man sitta i ett kafé och svalka sig, få särtryck av artikeln och få in den rätta flygvapenkänslan.

Artikeln jag skrev om Gripen blev så omåttligt populär ("Den bästa vi nånsin haft", väste en medarbetare som vill vara anonym) att redaktionen på Nätverk & Kommunikation beslutade att skapa en hel monter kring den på datormässan Computer World Expo 2000 i Stockholm i april.

Det är inte alla som fått en mässmonter på en datormässa helt dedicerad till en tidningsartikel man skrivit. Här står Yours Truly vid mässdisken och delar ut särtryck av artikeln, läskigt skrytsam. Den andra bilden visar mig sittande i kafédelen intill artikeln som väggtidning.

Naturligtvis drar ett svenskt stridsplan till sig folks intresse. Här ser du några bilder på folk som flockas kring maskinen. Givetvis var det en icke-fungerande fullskalemodell, men allting på utsidan var i autentiskt utförande, materialet i flygkroppen, landställen och så vidare.

Flygplan inbjuder till tekniska bilder. jag har krälat omkring ovanpå och under maskinen för att få några snygga vinklar. Slutligen visar jag att flygstridsrobotar också kan användas som armstöd.

REAKTIONSMOTOR 12
– BÅDE VACKER OCH STARK

Hur komplicerat kan det egentligen vara att elda upp fotogen? Inte särskilt. Du har säkert tänt en blåslampa någon gång och en reamotor är precis samma sak. Få upp tryck på bränslet, förgasa det genom några små hål, tänd det och den enorma gasmängd som blir resultatet blåser ut med en väldig fart. Lägg sen till 50 år av utvecklingserfarenhet, ett hölje av exotiska metaller, en mängd sensorer, en redundant styrdator och du har en blåslampa som kastat in Sverige i världseliten bland motortillverkare och gjort flygplanet Gripen svårslaget i luftstrider.

Foto: Saab AB

Vad är det som får Sveriges stolthet *), stridsflygplanet Gripen att ticka? Helt bortsett från alla datorer i själva flygplanet är motorn det man mest förknippar med storheten. Dånet när man står intill en startbana och en rote Gripen startar, fyller åtminstone undertecknad med både stolthet och vördnad för svensk industri.

Fast det hade inte blivit till mycket dån om det inte vore för FADEC: Full Authority Digital Engine Control, alltså det digitala styrsystem som ansluter motorns alla reglage och sensorer till flygplanets digitala styrbuss och reglerar alla parametrar så att piloten bara ska ha en enda sak att tänka på: att dra i gasreglaget. Allt annat klarar motorn själv.

FADEC kommunicerar med cockpit över den seriella bussen MIL-STD 1553B och det gäller inte bara Gripen utan de flesta moderna flygplan med fly-by-wire. 1553 är en buss på skärmad partvinnad ledning som har visat sig vara mycket tillförlitlig och används till allt från motorstyrning till att utlösa robotar och andra vapen. Motorn är å andra sidan analog till sin natur, med mängder av sensorer som behöver digitaliseras. Detta spännande samspel ska vi nu kasta oss in i.

IN MED HUVUDET FÖRST

En reaktionsmotor verkar vara ett ormbo av rör och kablage, till synes obegripligt obegriplig. Men så är det inte, som du ska få se av denna artikel. Volvo Aero i Trollhättan ställde generöst upp med tre tekniker som halade fram ritningar och schemor och fördelade arbetet med att trycka in funktionen hos RM12 i undertecknads skalle, emellan sig.

Lars Ekberg som jobbar på marknadssidan med ansvar för motorn vid export av Gripen, Mikael Wilenius som kommer från avdelningen motorsystem, en utvecklare inriktad på seglersystem och då särskilt FADEC där han gör en del programmering och Tommy Petterson som är elektronikkonstruktör på avdelningen motorsystem. Efter ett par koppar kaffe var vi tämligen ense: det går att begripa - det är inte ens svårt.

Det är varken särskilt konstiga komponenter eller underliga metoder. Tvärtom är konstruktionen tämligen rakt på sak och dessutom mera så än andra konstruktioner eftersom man satt säkerheten och enkelheten först. Det enda som kan konfundera någon som inte designar flygplan till vardags är de aerodynamiska principerna i motorn, hur luftflöden rör sig, hur kylfilmen häftar vid motorn hölje, och liknande.

Å andra sidan krävs det att du inte satt och sov på lektionerna om reglerteknik i skolan. För flöden och liknande skadar det inte att ha koll på Coanda-effekten.

1. HISTORIKDEL

Lars Ekberg börjar med att berätta varför det blev som det blev.

– Motorn var en av de vitala delarna när man började projektera stridsflygplanet Gripen. I Sverige har vi haft den ”traditionen” att vi aldrig utvecklat en motor från grunden utan har alltid sökt på marknaden efter en befintlig motor som uppfyller de uppsatta kraven.

I mitten av 80-talet gick man ut och undersökte vilka motorer som fanns, och var mest avancerade. Det fanns en från Rolls-Royce, en från Pratt & Whitney, och så fanns General Electrics F404. Den sistnämnda valdes eftersom den var uppbyggd för att möjliggöra kostnadseffektivt underhåll och så passade den tekniskt bäst i flygplanet. FMV köpte en licens för att vidareutveckla F404:an. Den stora skillnaden mellan F404:an och det som skulle bli RM12 var att vi skulle göra ett enmotorplan, medan F404:an var avsedd för plan med två motorer.

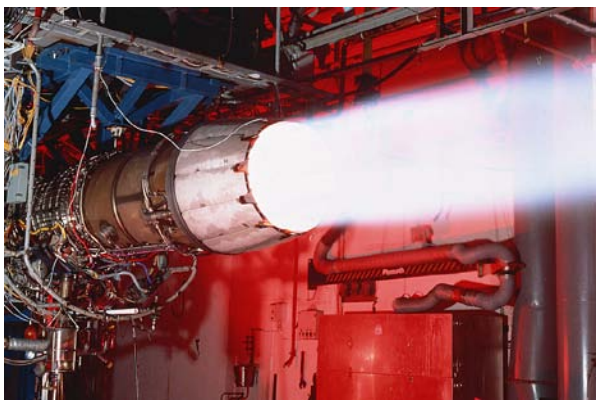
1.1 Fågelkollision

Vi fick börja med att anpassa den så att den skulle bli flygsäker som enmotorapplikation. Eftersom vi i Sverige har krav på att motorn ska klara en fågelkollision gjorde vi hela fläkten (lågtrycksdelen) robustare. Det är oundvikligt att en eller annan duva åker med in i motorn då och då. Det ska den tåla. Därför finns det inte en detalj i fläkten som är kvar från F404.

– Har ni skjutit frusna kycklingar på den, frågar den förhoppningsfulle reportern?

– Vi skjuter halvkilos halvtinade duvor och ser vad som händer. Motorn detekterar en fågelkollision (eller en hatt eller turban, eller pennor och suddgummin mm) som att varvtalet plötsligt sjunker eftersom någonting tar emot när motorn hackar sönder duvan i lämpliga delar och dragkraften minskar, men den ska återhämta sig igen inom sådan tid att man undviker att den slocknar. Efter flygningen undersöks motorn och hittar man skador repareras dessa, men normalt hittar man bara fjädrar och blod vid insuget. Det ska man tvätta bort omedelbart för annars sitter det stenhårt fast. En motortvätt och så tillbaka i tjänst. Fågeln själv kommer förstäss ut som gas

i andra änden. Ännu så länge har en fågelkollision aldrig gjort någon skada i våra motorer.



Före första leverans provas motorn i dragbänk under hela nio timmar. Du ser klart och tydligt de olika färgerna på kablagen, gul, röd, violett etc.

1.2 Redundans i reglersystemet

F404:ans reglersystem var helt analogt och kallades ECU (Engine Control Unit). Volvo utvecklade ett digitalt system tillsammans med GE. Volvos första version kallades för DEC, Digital Engine Control. Driftsäkerhetskraven är höga, så systemet byggdes upp som dels ett elektroniskt och dels ett mekaniskt som backup. Bränslepumpen gjordes tåligare och tändsystemet gjordes redundant.

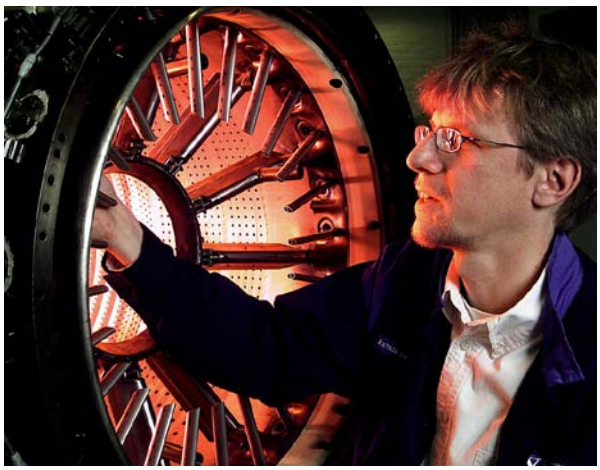
Steg två blev att de hydromekaniska delarna togs bort och ett helt nytt digitalt system utvecklades, denna gång med full kontroll över motorn, ett Full Authority Digital Engine Control, FADEC. Dock finns fortfarande ett mekaniskt system som backup (en mekanisk kalkylator, mums, se nedan). Andra tillverkare använder sig av en tvåkanalig FADEC, men Volvo fortsätter traditionsenligt med digitalt+mekaniskt.

Dessutom behövde F404:ans dragkraft höjas. Därför gjordes fläkten något större, för att kunna blåsa igenom mera luft och turbinen utfördes i andra material för att tillåta högre temperaturer. Motorns hölje är titan, men inuti turbinen används material med nickelbas. I EBK:n är det riktigt varmt så den är nästan helt utförd av nickelbasmaterial, medan flamröret är gjort i kobolt för att tåla de riktigt höga temperaturerna.

Efter dessa ombyggnader kallades motorn RM12.

”Piloten bör veta är vilka varningar som motorn ger ifrån sig och hur han skall agera på dessa varningar.”

1.3 EBK:n – like a candle in the wind



En tekniker justerar flamhållaren i EBK, de svarta ”ekrarna”. Bränslespridarna (insprutningsrören) är de flöjtlika rör med sidohål som sticker in. De förekommer i många olika varianter.

Flamhållaren är ett skydd mot blåsten. Det blåser duktigt inuti motorn och luftens höga hastighet efter första brännkammaren kommer att blåsa ut EBKns flamma om denna inte skyddas, som med ett stearinljus man håller handen för. Det gör man med flamhållaren.

General Electrics flamhållare var inte särskilt bra och slets dessutom ut fort, eftersom den blev väldigt varm, inte tålde temperaturväxlingarna när EBKn slogs på och av och inte heller tålde vibrationerna i EBK:n, som fungerar som en orgelpipa. Den var dessutom svår att byta eftersom hela motorn fick tas ut.

Den enskilt största underhållsposten i de första RM 12:orna var just flamhållaren. Efter vissa experiment med den befintliga flamhållaren övergavs den. Volvo gjorde en ny som kyls med kylluft och håller mycket längre. Den är dessutom uppbyggd av segment, varför man bara behöver byta det förslitna segmentet. Det kan göras utan att motorn tas ur flygplanet. Eftersom den är kyld syns den inte heller så bra för värmesökande robotar.

Av den ursprungliga F404-motorn finns idag kanske 50 % kvar. Resten är Volvos nyutveckling. Motorn ägs numera av Sverige och Volvo är OEM. Volvo har typcertifikatet och ansvaret för att motorn är flygvärdig och GE står bara för de reservdelar som behövs till det som är omodifierat (kompressorn, brännkammarmodulen, växellåda, generatorer etc).

1.4 Designmålet

Piloten påverkar hela detta underverk med gashandtaget, som styr FADEC elektriskt, eller om FADEC skulle fallera, via en enda gasvajer. Utöver detta behöver han inte veta så mycket om motorns funktion eller bry sig om några inställningar. Piloten bör veta är vilka varningar som motorn ger ifrån sig och hur han skall agera på dessa varningar. Han kan också manuellt koppla om

till mekanisk reglering om han tycker att han inte får tillräcklig dragkraft i normalmod.

Alla motorparametrar går över databussen till minnen i flygplanet för att kunna studeras i efterhand. Vissa viktiga signaler går direkt till instrumenten, till exempel kompressorvarvtal och turbinutloppstemperatur.

2. TERMINOLOGIDEL

2.1 Motorns delar

Det är bra om du hänger med i terminologin. Volvo kallar huvudmotorn för GG (gasgenerator) och efterbrännkammaren för EBK. De ställbara ledskenorna, kompressorns icke-roterande blad som ändrar flödet i kompressor och fläkt för att få optimalt flöde vid varje varvtal (se avsnittet om pumpning) kallas SL och nämns efter var de sitter: SLF (ställbara ledskenor fläkt) och SLK (ställbara ledskenor kompressor). Tändboxen är den enhet som generar 7 kV högspänningspulser till tändstiften (hackare och tändspole).

2.2 Sensorer

Sensorerna benämns efter sin funktion. TT betyder Total Temperature och PS är Pressure Static (en trycksensor).

Temperatursensorerna består antingen av termoelement som kopplas rakt in i FADEC (som har kalla lödstället) eller varmtrådsmätare, där man mäter resistansen i en mätbrygga av platinatrådar. Trycksensorerna sitter inuti FADEC och består av piezoelektriska plattor som påverkas direkt av mättrycket som kommer in via ett rör direkt från pitotröret inne i brännkammaren. Inget komplicerat.

2.3 Zoner

Motorn är definitionsmässigt indelad i åtta zoner allt efter funktionen. Zon 1 är insuget vid första fläkten. Zon 2 är utrymmet mellan fläkten och kompressorn. Zon 3 är inuti kompressorn. Zon 4 är utloppet från brännkammaren. Zon 5 är strax efter turbinerna. Zon 6 är flamhållaren i EBK. Zon 7 är EBKns brännkammare efter flamhållaren och Zon 8 är den ställbara öppningen i slutet av motorn där gasens hastighet är som högst, alltid Mach 1.

Sensorerna i de olika zonerna numreras efter sin zon, som TT1, TT5, PS3, PT5 osv. Då kan du själv räkna ut var TT2,5 sitter? A8-regulatorn är den regulator som styr hydraulcylindrarna som ställer utgångsarean i zon 8, Mach 1-zonen.

Temperaturgivaren TT2,5 sitter som namnet antyder mitt mellan zonerna 2 och 3 och mäter temperaturen mellan fläkten och kompressorn. Här har luften ännu bara komprimerats 4,2 gånger. Den är av typen platinatråd i mätbrygga (Pt-100). Sensorn är egentligen dubbel och kontaktdonet till platinatråden syns under den gula slangen. Slangen själv innehåller helium som när det värms upp i känselkroppen, trycker på en bälg inne i mottagaren till höger, som utgör ett äldre, pneumatiskt fallback-system.

2.4 Kablage

Kablagen i motorn är färgade enligt en särskild princip som går igen i scheman och överallt annars. Säger man ”gult kablage” vet alla direkt vad det är (se principschema och vissa foton). I äldre motorer var kablagen helt omlindade med färgat teflonband men på nyare modeller är färgerna sammanspunna med svart tråd. Färgerna syns dock ändå tydligt. Allt är rakt på, som du ser.

2.5 Bland pitotrör och Pt-100

De sensorer som sitter på motorn kan indelas i tryck-, temperatur-, läges- och varvtalsgivare.

Tryckgivarna är av typen pitotrör, rör med hål i som sticker upp i luftflödet där luften pressas in och blir till ett tryck. Trycket förs vidare i ett rostfritt rör fram till FADEC där det hamnar i en piezoelektrisk tryckgivare. Den fungerar så att det sitter en piezoelektrisk kristall på ett membran och när membranet belastas med ett tryck böjs det och därmed också kristallen, som genererar en spänning. Spänningen tas genom en högimpediv förstärkare och vidare till en A/D-omvandlare.

Läs mer på www.davidson.com.au/products/pressure/pcb/theory/pressure-theory.asp

Pitotrör är tämligen vanliga i flyget. Det långa spjut som sticker ut längst fram i nosen på Gripen är pitotröret. Det mäter lufthastigheten genom att fartvinden helt enkelt blåser in i det och skapar ett tryck. Det är viktigt att pitotröret sitter i ostörd luft så att inte luftvirvlar runt flygkroppen påverkar flödet. På trafikflygplan sitter pitotrören ofta som två spjut längs flygkroppen alldeles vid cockpit.

De temperatursensorer som används är antingen av typen termoelement eller resistiva givare. Den resistiva givaren är en enkel tråd av platina som placerats på något strategiskt ställe och värms upp av motorn. Genom att mäta dess resistans, som varierar linjärt med temperaturen, med en resistansmätare kan man avgöra temperaturen.

Resistansen mäts normalt med en Whetstonebrygga och det är obalansen i bryggan som blir till en mätbar spänning. Ja, försök inte, det experimentet gjorde du i skolan också. De vanligaste sensorerna är gjorda av platina och håller 100 ohm vid 0 °C och kallas därför Pt-100-sensorer. Resistansen ändrar sig 0,385 ohm/°C.

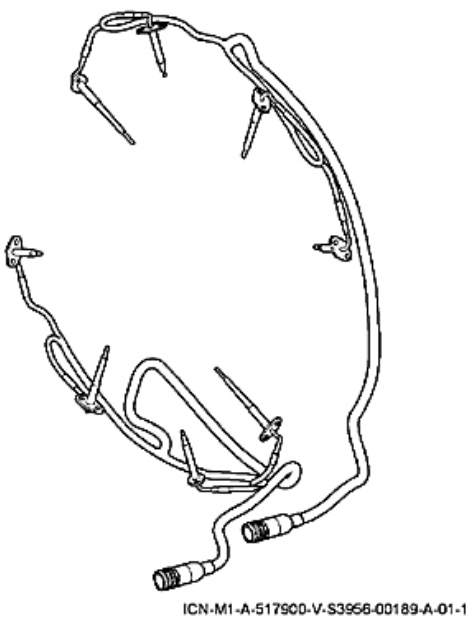
Läs mer på en.wikipedia.org/wiki/Resistance_thermometer

Temperaturgivaren TT1 mäter luftens temperatur vid insuget. Den är av typen platinatråd i mätbrygga.

Termoelementet skapar själv en utspänning beroende på den temperatur det utsätts för, genom den termoelektriska effekten. När två metaller svetsas ihop i en punkt och värms upp alstrar de en spänning, beroende på skillnaden i de båda metallernas termoelektriska effekter. Den spänningen kan man mäta och på så sätt avgöra temperaturen. Det fina är att man kan välja metaller som inte smälter så lätt och således mäta väldigt höga temperaturer.

I RM 12 används termoelement typ K, den absolut vanligaste typen i industrin. Det är sammansatt av två metaller, kromel-alumel och klarar 1350 °C. Termoelementet är tåligt och billigt. Det genererar visserligen bara 41 mikrovolt per grad, men å andra sidan håller motorn 1000 grader på sina ställen. Egentligen mäter termoelementet skillnaden i temperatur mellan en varm och en kall ände och den kalla änden finns inne i FADEC. Den består dock inte av ett kallt termoelement, utan av en elektronisk kompensering för det sk ”kalla lödstället”.

Läs mer på en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple



Det sitter åtta temperaturgivare kallade TT5 runt kanterna precis vid flamzonen i EBKn. De mäter helt enkelt flammans temperatur och består av termoelement i Kromel-alumel inneslutna i temperaturtåliga 5 millimeters rör med rundad topp som sticker in några centimeter i motorn.

Du har förmodligen sett en helt annan tillämpning av termoelement, nämligen kylare i datorer eller campingkylskåp med sk Peltierelement. Peltierelementet är inget annat än ett termoelement, oftast med kisel som en ingrediens, som man ”kör baklänges” och får att alstra en temperatur med hjälp av en påförd ström, istället för att alstra en ström pga. en påförd temperatur.

Det säkraste sättet att avgöra en komponents, till exempel en hydraulcylinders läge är med en LVDT, en Linear Variable Differential Transformer. LVDTn är en

”Motorn är i sig inte en källa till elektromagnetisk störning, men radar och annan fientlig strålning kan vara det.”

långsträckt komponent med en genomgående axel som kan skjutas ut och in. Sensorn påförs en växelspänning (exciteringssignalen) och matar ut samma växelspänning, men med en amplitud som varierar med axelns läge. Instrumentet är helt enkelt en transformator med en statisk primärlindning och två förskjutbara sekundärlindningar lindade i motfas som matar ut högre spänning ju närmare sekundären kommer primären.

Spänningen noll lämnas naturligtvis vid mittläget, när de båda sekundärlindingarna ligger utanför, på var sin sida om primären, och tar ut varandra. Beroende på åt vilket håll man skjuter axeln kring nollpunkten vänder utspänningen fas. LVDTn indikerar alltså både avstånd och sida om nolläget.

Det kan tyckas omständigt att använda växelspänning och transformatorer, men LVDTn är beröringsfri, tål vibrationer och tryck och slits mycket lite. Den är en mycket vanlig komponent i krävande servotillämpningar.

Läs mer på en.wikipedia.org/wiki/LVDT

Varvtalssensorn NL är en elektromagnetisk sensor som i princip räknar hur många fläktblad som far förbi per sekund i lågtrycksfläkten, naturligtvis utan att vidröra dem. Fläktbladen är tillverkade av omagnetisk titan, men det sitter en platt magnet frampå sensorn och när ett blad sveper förbi bildas det virvelströmmar i bladet som blir till en serie viftningar i magnetfältet som kan mätas som en växelspänning över sensorns spole.

Varvtal under 1000 rpm är knappast intressanta och maxvarvtalet är 11.200 rpm och multiplicerar man med 50 fläktblad blir det frekvenser på mellan 833 Hz och 9,3 kHz. Förstärk signalen, schmitt-trigga den och kör in den i en räknare och det blir tämligen lätthanterligt för en dator. Du tycker kanske att en reflexdetektor eller annan optisk sensor hade varit ännu enklare, särskilt som den lämnar färdiga digitala pulser, men den skulle inte ha mycket chans när ljuset kan studsa bland tusen blanka fläktblad och olja, flygbränsle, smuts och pulvriserade fåglar sprutar omkring.

Varvtalsgivaren för lågtrycksfläkten är magnetisk. Inte för att fläktbladen är av järn, utan det sitter en skiva keramiskt magnetmaterial längst fram (svart) och sensorn är en enkel spole som registrerar de virvelströmmar som bildas i fläktbladens toppar när de far förbi magneten.

Flamvakten är en liten glasbehållare med ett fönster in mot EBKn. Den innehåller en gas i ett glasrör som joniseras av UV-strålningen från flamman. I var ände av röret sitter en elektrod och mellan dem lägger man på en sinusvåg på 4 kHz från en oscillator. När gasen jonseras uppstår ett kaotiskt läge i röret och frekvensen går upp till 9 kHz. Det känner FADEC av.

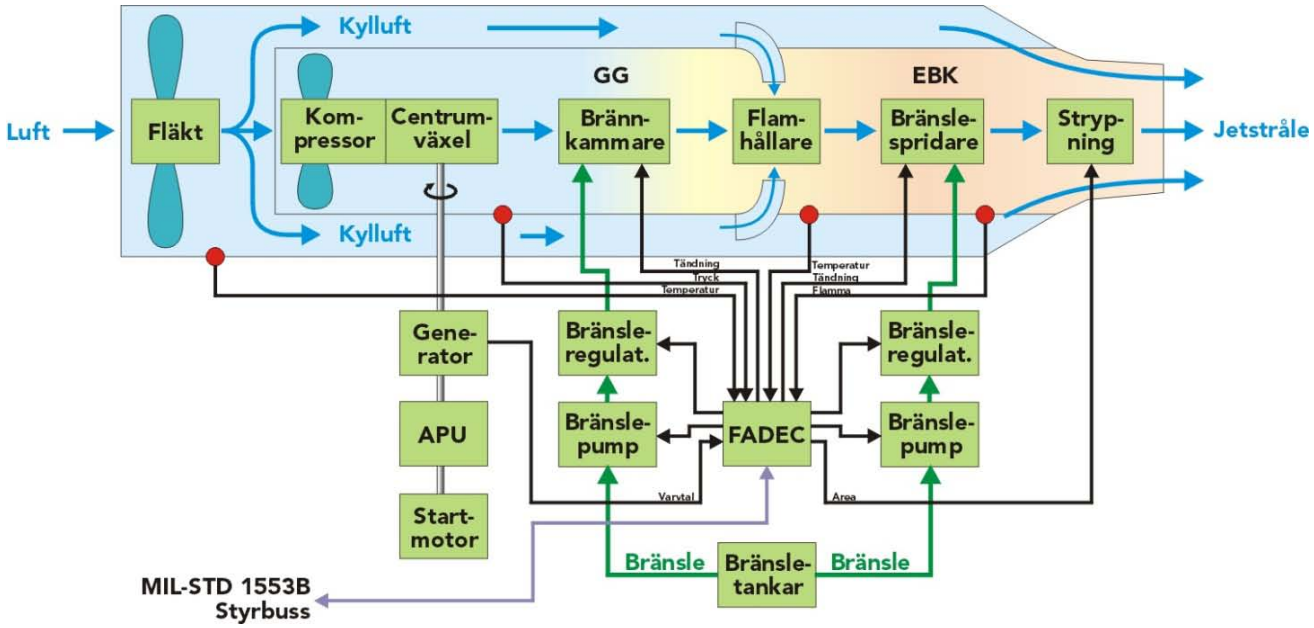
Det är mycket växelströmmar bland sensorerna. Det kan verka omständligt, men med växelspänning kan man direkt eliminera likströmsdrift och störfrekvenser kan filtreras bort när man vet arbetsfrekvensområdet.

Motorn är i sig inte en källa till elektromagnetisk störning (EMI), men radar och annan fientlig strålning kan vara det. Den enda lokala störkällan är tändsystemet, men just därför framförs högspänningen på skärmad ledning. Tändsystemet är dessutom bara aktiverat vid motorstart, flygning på extremt hög höjd och vid vissa nödsituationer.

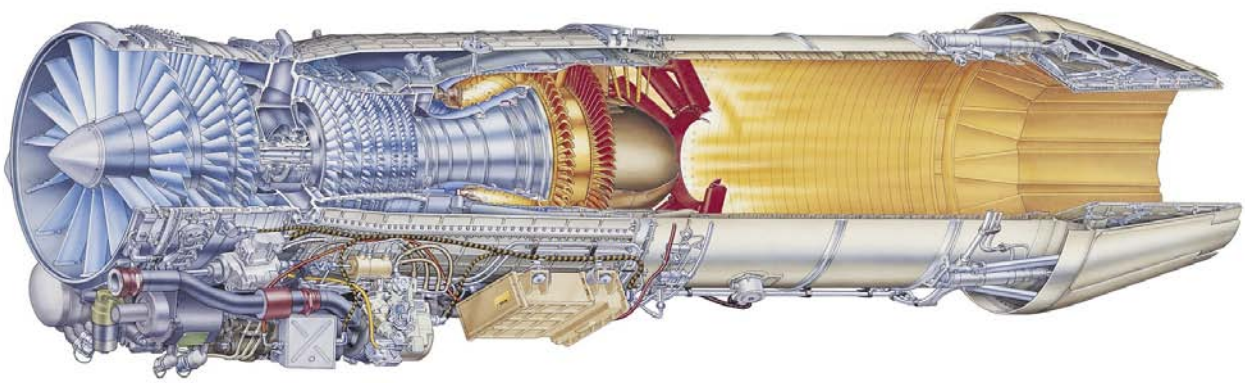
Grabbarna som byggt RM12 kan sin skärmteknik.

3. BESKRIVNINGSDEL

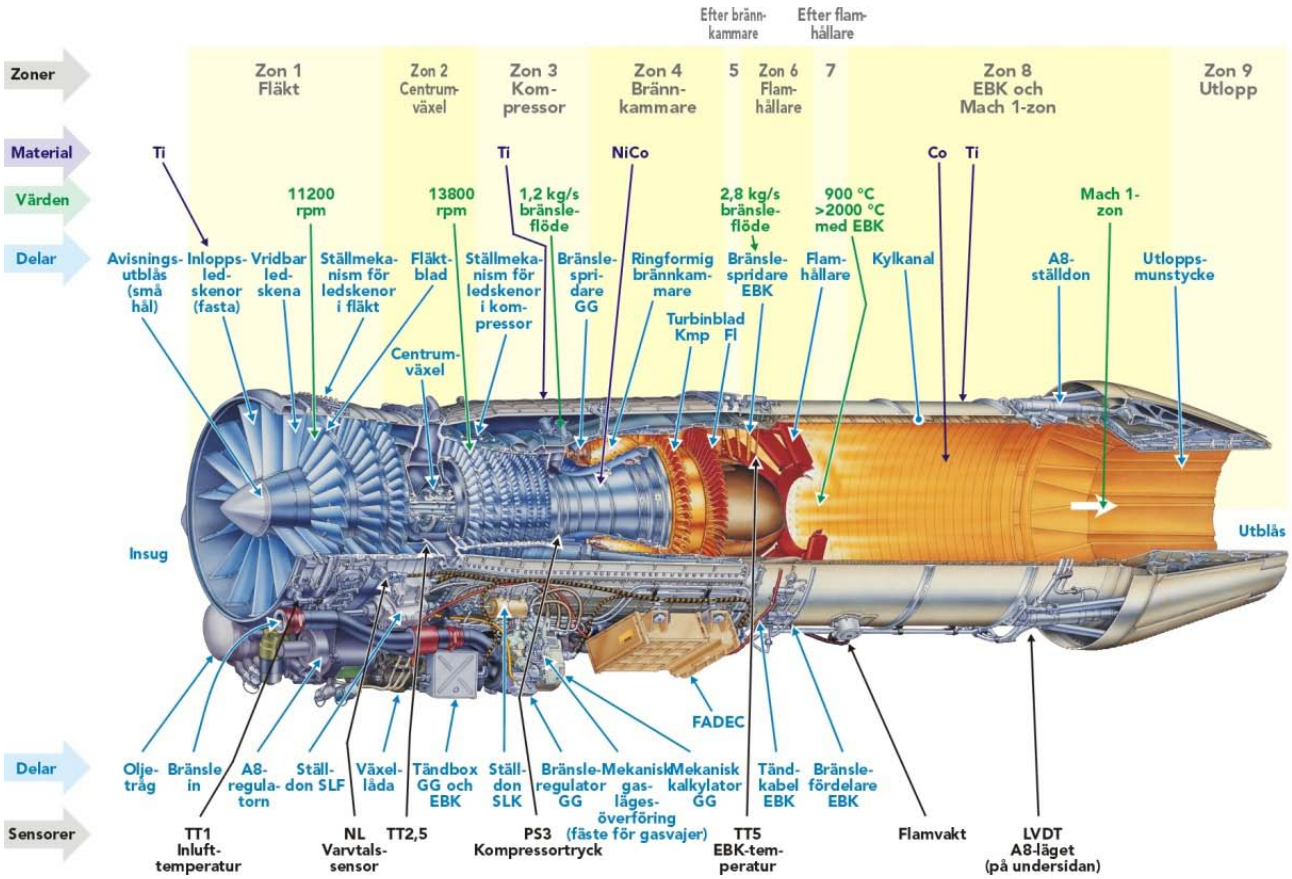
Jag har valt att beskriva motorn uppdelat efter de ingående systemen, bränsle, olja, sensorer, FADEC mm och rekommendationen är att du skriver ut principschemorna nedan, både de ursprungliga och de kommenterade, tillsammans med genomskärningen av motorn för att ha som referens vid genomläsningen.



Blockschema. Ett övergripande, förenklat blockschema av RM12 som visar tre flöden: luft (blått), bränsle (grönt), elektriska signaler (svart) och databussen (lila).

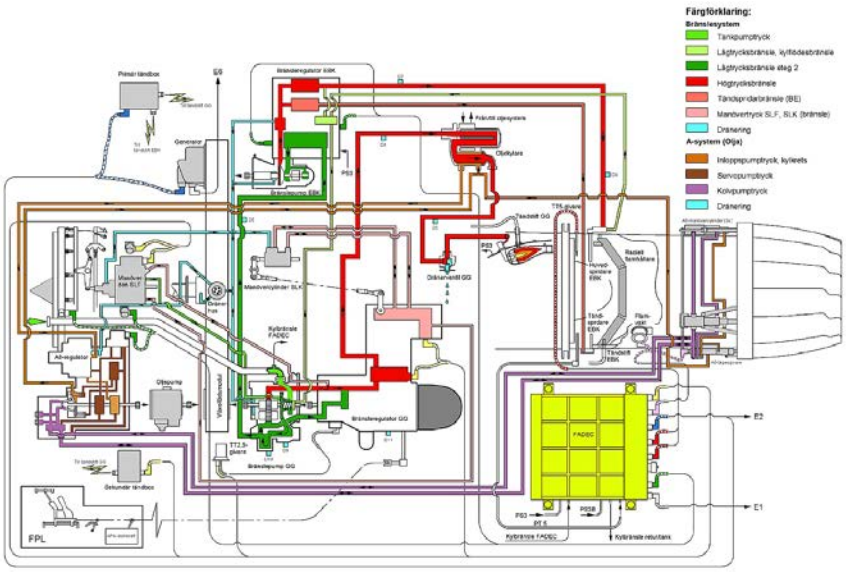


Genomskärning. En uppskuren vy av RM12. Betrakta detta konstverk och betänk att det är tecknat och målat för hand av en anställd på Volvo Aero. Bilden är Volvos Pièce de Résistance och hänger på alla kontor och verkstäder.



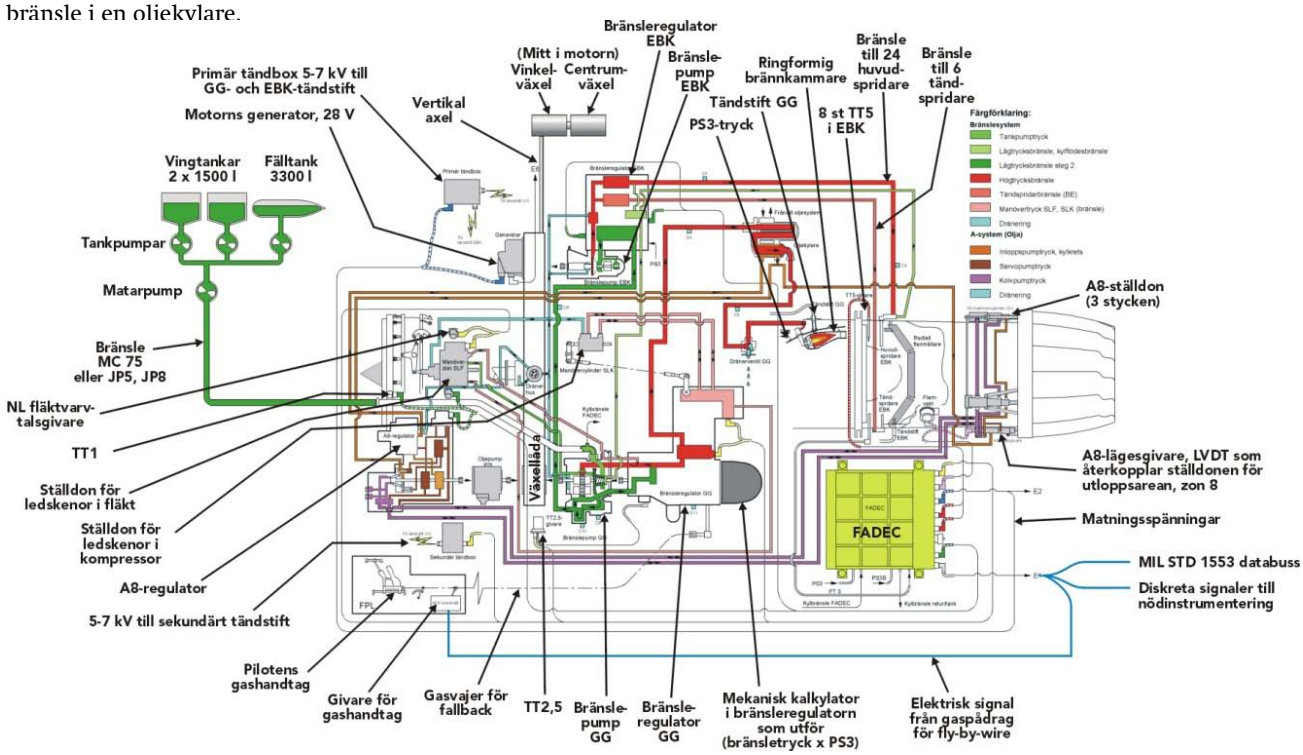
Kommenterad genomskärning. Den uppskurna vyn av RM12 med mina kommentarer. Motorns konstruktionsmässiga zoner uttrycks i olika toner av gult. Notera hur materialvalet överensstämmer med temperaturen.

Ytterhöljet och de kalla delarna är av titan, medan det heta flamröret i EBK:n är av kobolt. För att inte ytterhöljet ska smälta åtskiljs det från motorns inre delar av en kylkanal som det blåser kalluft igenom. Bland de mest komplicerade detaljerna är mekanismen för att rikta de ställbara ledskenorna i fläkt och kompressor.



Det elektriska- och bränslesystemet i RM12 helt utan kommentarer. Denna bild använder Volvo Aero på kurser i reglerteknik för motorkonstruktörer. Notera att bränsle används både som kylmedium och hydraulmedium. Det är det kallaste som finns i en Gripen och det finns alltid tillgängligt under tryck. Ändå används vanlig hydraulolja till A8-ställdonen i en separat krets. Oljan, och därmed ställdonen, kyls dock av

bränsle i en oljekylare.



Det elektriska- och bränslesystemet i RM12 med mina kommentarer, med det yttre bränslesystemet i Gripen tillagt. Notera till exempel den sekundära tändboxen, ett andra tändsystem som Volvo lade till när motorn gjordes flygvärdig i enmotortillämpningar. Notera också kablagens färger.

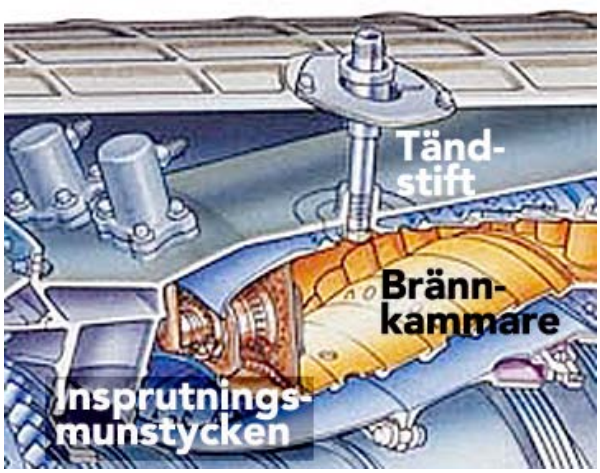
3.1 Bränslesystemet

Bränslet kommer in från vingtankarna på ett enda ställe (grönt på scheman). Detta rör är tjockt och blått på alla foton.

Den första avtappningen är ett rör som går till FADEC för att bränslekyla denna. Detta bränsle deltar inte vidare i processen utan går tillbaka till flygplanet.

Bränslet möts först av bränslepumpen och sedan av bränsleregulator GG. Regulatorn ska förse motorn med rätt mängd bränsle efter hur mycket pådrag piloten gör, dvs hur mycket kraft han vill ha ur flygplanet. Förhållandet är naturligtvis inte linjärt utan beror på fart, höjd, temperaturer och så vidare. Det är därför man behöver ett reglersystem som FADEC. Efter regulatorn går bränslet ut till spridarna (rött i scheman), rören som förgasar det i luften. På sin väg ut till spridarna passerar bränslet oljekylaren och kyler den hydraulolja som används i systemet.

När bränslet har uppnått tillräckligt tryck för att kunna förgasas släpps det ut i brännkammaren, förgasas genom små hål, tänds på av tändstiftet och brinner upp. Tändstiftet behövs endast vid motorstart, när det väl brinner är processen kontinuerlig utan behov av gnista från tändstift. Svårare än så var det inte.



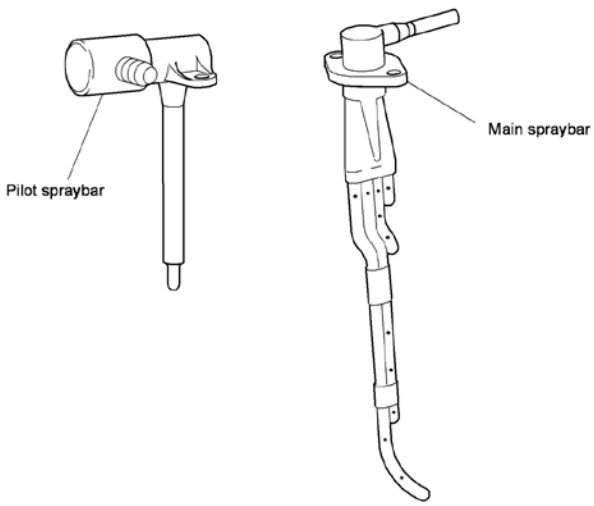
Den ringformiga brännkammaren (eller annular combustion chamber). Ringformig kallas den för att den ligger som en ring runt hela motorn. Runt omkring den blåser kylluft.

3.2 Tändsekvensen i EBK

Halvvägs igenom bränslepump GG tappar man av bränslet som ska till efterbrännkammaren. Det går vidare till bränslepump EBK och bränsleregulator EBK.

I regulator EBK delas bränslet upp i två flöden, ett till de 24 huvudspridarna och ett till de 6 tändspridarna. Tändspridarna får bränsle av lägre tryck (Tändspridarbränsle BE) medan huvudspridarna och spridarna i GG får sk högtrycksbränsle. EBKn tänds på relativt lågt flöde

genom att bränslet släpps ut i de 6 tändspridarna och tänds av den heta gasen som strömmar förbi. Skulle inte det räcka så finns även ett tändstift som givetvis går som säkerhet. Flamvakten upptäcker flamman och talar om för FADEC att det brinner, varpå denna släpper på högtrycksbränslet till huvudspridarna.



Runt kanterna på EBKn sitter 24 rör som sprutar in och förgasar bränslet, sk bränslespridare. De är inte särskilt komplicerade och har förekommit i olika varianter, allt från rör med enkla hål i till något som ser ut som böjda orglar.

GG brinner naturligtvis fortfarande. Enbart GG förbrukar som mest 1,2 kilo bränsle per sekund, men tillsammans med en tänd EBK går det åt 4 kilo per sekund. Med ledning av detta och kännedom om att vingtankarna rymmer totalt 3000 liter kan du själv räkna ut hur långt Gripen hinner vid Mach 1 innan halva tanken är tom och piloten måste vända. Men säg det inte till främmande makt.

I själva verket delas bränslet upp i tre flöden i bränsleregulator EBK. Det tredje flödet är direktbränsle från flygplanets matarpump (lågtrycksbränsle, ljusgrönt på scheman). Skulle bränslepump EBK gå sönder kan huvudspridarna gå vidare på självtryck, om än inte med samma effekt som om pumpen var igång.

Det optimala hade varit att kunna förbränna bränslet stökiometriskt (idealt) och komma upp i 2300 grader i brännkammaren, men tyvärr finns det inga material som tål det. Förbränningsgaserna måste därför ”spädas ut” med kalluft till en god bit över 1000 grader. Värmeenergin från förbränningen utför ett arbete i turbinerna, varvid en del av värmeenergin omvandlas till rörelseenergi. Efter GG-turbinerna ligger temperaturen därför på 900 grader. I EBK försöker man dock elda så stökiometriskt som möjligt, även om det inte lyckas så bra eftersom bränslet inte förgasas (sprids) riktigt lika effektivt med enkla sprut-rör med hål i.

EBKn används väldigt sällan och är för det mesta bara död massa som man tvingas flyga omkring med. Därför görs den så enkel som möjligt. Därför kommer man inte upp i 2300 grader utan får nöja sig med 2100 grader. Med 80,5 kN dragkraft förbrukar hela motorn 4 kilo fotogen per sekund (i rigg, vid havsytan, ska sägas. SLS = Sea Level Static).

3.3 Tändboxarna

Det primära tändsystemet strömförsörjs med växelström från motorns generator. Varför det här inte är en Moment 22-situation kommer du att förstå i avsnittet om APUn, nedan.

Högspänningen på 5-7 kV skapas av helt vanliga tändspolar (högspänningstransformatorer) som förses med växelström från generatorn. General Electrics tändsystem bestod av en tändbox med två tändspolar som tände GG och EBK, men i och med modifieringen till enmotorsystem lade Volvo till en sekundär tändbox. Den strömförsörjs dock från en redundant spänningskälla, nämligen flygplanets 28-voltssystem och tänder GG med ett reservtändstift.

Tändstiften knattrar och går alltid när moton startas, när man skall tända EBKn och i de fall man riskerar utslockning (blow-out), till exempel om man flyger väldigt sakta på hög höjd där lufttrycket är lågt. Andra situationer kan vara en fågelkollision, eller någon annan situation som hotar att släcka motorn..

Tändstift till både GG (vänster) och EBK (höger)

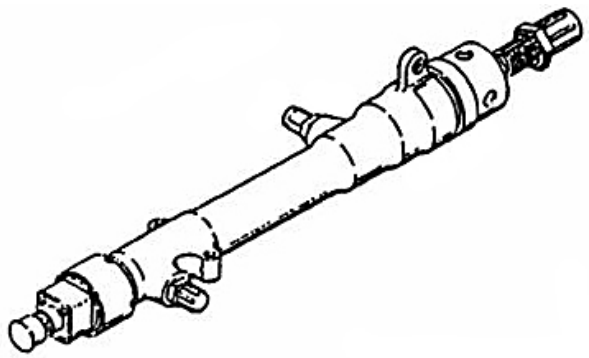
Tändstiftet har en isolerad centrumelektrod och sitter skruvat i chassit. När man lägger på pulser om 7 kV slår en gnista mellan elektroden och kanten. Tändstiftet används inte bara vid tändning utan även vid vissa manövrer för att försäkra att lågan inte blåser ut.

3.4 Reglering av utloppsmunstycket (A8)

Det är arean på utloppsmunstycket som bestämmer hastigheten på gasen som lämnar motorn. Reaktionskraften ges av skillnaden mellan hastigheten på gasen in i och ut från motorn. Munstyckets area måste kunna varieras och det gör man med tre hydrauliska manövercylindrar som styrs av A8-regulatorn. Namnet hänför sig till att

ställdonen sitter i konstruktionszon 8, som är utloppet. Regulatorn är en vanlig kolvpump som matar ut tryck till lämpligände av cylindrarna beroende på önskat börvärde, alltså utloppsarea.

Munstyckets läge känns av av en linjär längdlägesgivare av typen LVDT som skickar tillbaka ärvärdet till FADEC.



Det långa röret är en lägesgivare i form av en transformator med förskjutbar lindning, en LVDT. Den känner läget för utblåsmunstyckets klaffar, varur man kan beräkna mynningsarean. En variabel transformator är en mycket pålitlig komponent som nästan inte slits.

3.5 Ledskenorna eliminerar pumpning

För att få ett jämnt luftflöde genom motorn sitter det så kallade ledskenor, ungefär som fasta fläktvingar, före varje steg i turbin och fläkt för att styra flödet så optimalt som möjligt.

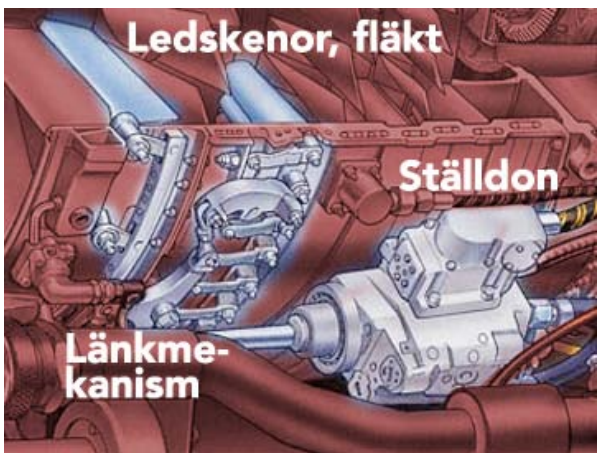
I inloppssteget och första steget i fläkten (SLF = ställbara ledskenor fläkt), och i kompressorns två första steg (SLK = ställbara ledskenor kompressor) är ledskenorna vridbara. Med enbart fasta ledskenor, som i de flesta andra flygmotorer, särskilt i östblocket, är motorn bara optimerad för ett visst gaspådrag. Detta kan resultera i ”pumpning”.

När trycket byggs upp i motorn blir det högre tryck bakom fläkt- och kompressorskovlarna än framför, vilket gör att luften vill strömma baklänges ut ur motorn. Idealt ska luften strömma laminärt genom motorn och häfta vid fläktbladen i ett skikt (Coanda-effekten). Skulle strömningen bli felaktig kan skiktet släppa och då kan strömmen inte hålla tillbaka luften utan den vänder. Och vänder den i ett steg, trycker den på steget före och så vänder luften där också. Då pumpar motorn. Vid riktigt kraftig pumpning slocknar motorn och kan till och med bli skadad.

Med ställbara ledskenor kan motorn köras vid alla pådrag med marginal mot pumpning. Det fanns ställbara ledskenor även i F404:an, men bara vid inloppet, medan Volvo infört det på flera ställen i RM12. Skenorna vrids med en hydraulcylinder genom ett mycket komplicerat system av hävarmar. Hydraulmediet är bränsle (till skillnad från t ex A8-cylindrarna). Cylindern vrider en ring som löper runt hela motorn, som i sin tur påverkar alla hävarmar, som vrider alla ledskenor. Ett Meccano på hög nivå.

– Att få ihop det där är nästan så man kan bli lite knäpp, när man tänker på det, inflikar en tekniker som vill vara anonym.

– Men piloten behöver aldrig tänka på risken för pumpning. Det tar reglersystemet hand om, försäkrar Lars. Pratar man med piloter, företrädesvis sådana som flyger ryska plan, så brukar de fråga hur man kontrollerar så att motorn inte pumpar. Vi svarar bara att vi inte har någon sådan kontroll. Även om piloten försöker provocera fram pumpning så kompenserar reglersystemet så att det inte går. Ett av målen med RM12 var att piloten skulle kunna göra vad som helst med gasreglaget, så länge han befinner sig inom ”flygområdet”.



De ställbara ledskenorna är en del av hemligheten med Gripens fina prestanda. De kan vridas så att luftflödets riktning inne i motorn anpassas för varje fart. Utan ställbara ledskenor fungerar motorn bara optimalt vid en enda fart. Ledskenorna kompenserar också för att undvika pumpning. Mekanismen är mycket komplex, i och med att ställdonets rätlinjiga rörelse, via att antal hävarmar omvandlas till en vridande rörelse, som vrider ringen kring hela motorn. Ringen vrider i sin tur ett antal hävarmar som sitter på ledskenorna. I fläkten sitter dessutom två vridbara ringar och i kompresorn ytterligare en, med sitt eget ställdon.

3.6 Givare och indikatorer

För givarnas funktionsprincip, se avsnittet ”Bland pitotrör och Pt-100” ovan.

I inloppet sitter en Pt-100-temperaturgivare som kallas TT1, totaltemperatur i zon 1. Den ger en referenstemperatur för reglering av temperaturen i zon 5, efter brännkammaren, men före EBK, eftersom dessa båda temperaturer har ett bestämt förhållande. Man försöker uppnå ett visst värde på TT5 beroende på TT1 och det görs genom reglering av utloppsarean A8.

Givare NL, lågtrycksvarvtal, egentligen två stycken för redundans, ger fläktens varvtal. De ger en sinusliknande puls till FADEC som helt enkelt räknar frekvensen, maximalt 11.200 varv per minut.

Givare NH, kompressorvarvtal, borde egentligen finns, men gör det inte. Kompressorns varvtal tas istället från en lindning på generatorn som sitter på växellådan som drivs av kompressorn, max 13.800 varv per minut. Det hade mycket väl gått att sätta en varvtalsgivare i kompressorn, men det var helt enkelt lättare att mäta på generatorn.

TT2,5-givaren i inloppet till kompressorn är egentligen två. Den första är pneumatisk, heliumfylld, och påverkar en bälg i GG-regulatorn med tryck genom ett rör. Den har kompletterats med en Pt-100-givare som går till FADEC. Den första sensorn har behållits som en fallbackåtgärd, elegant, strömlös.

PS3 ger det statiska trycket i zon 3, efter kompressorn, som är en referens för luftflödet i motorn. PS3B mäter trycket i bleed-luften, sådan luft som tappas av för kylning av maskinvara och till luftkonditionering i cockpit. Detta tryck måste man känna till för att kunna korrigera det fortsatta trycket i resten av motorn, eftersom det innebär en effektförlust i motorn, och därmed en förlust av dragkraft, som måste kompenseras genom att man eldar mer i motorn. PS3 och PS3B går som tryckrör direkt till tryckgivare i FADEC.

TT5-givarna mäter temperaturen efter brännkammaren och är utförda som termoelement. För redundans finns det åtta stycken.

PT5, som mäter trycket efter kompressorn, är en referens för dragkraften som FADEC räknar om och presenterar för piloten på displayerna. Det går inte att mäta dragkraften direkt, utan man räknar om bland annat detta värde och visar som ett stapeldiagram.

Längre bak, sådär 40 centimeter bakom flamhållaren sitter flamvakten, som talar om ifall EBKn brinner eller ej. Det kan ju vara behändigt att veta. FADEC tycker i alla fall det, och slår i annat fall på tändstiftet för att återtända EBKn om den skulle ha slocknat.

Allra längst bak, i zon 8 hittar vi längdlägesgivaren, en LVDT som talar om hur A8-cylindrarna står, A8-läget, för att ge FADEC en feedback på den verkliga utloppsarean.

Ytterligare en LVDT sitter i GG-regulatorn och mäter positionen på den ventil som doserar bränslet. EBK-regulatorn har begåvats med en likadan så FADEC alltid vet att rätt mängd bränsle släpps ut. Alla ventiler övervakas. Inget lämnas åt slumpen.

En RVDT (Roterande...) fungerar som elektriskt gaspådrag, tillsammans med gasvajern. Medan gasvajern går direkt till bränsleregulatorn, försörjs RVDTn med växelström från, och lämnar sin signal till FADEC. RVDTn är primärt gaspådrag och gasvajern är backup. Ytterligare redundans för gaspådraget finns i form av signaler från flygplanet via 1553-bussen och ett vred med en RVDT i kabinen. Signalerna via 1553-bussen används om ordinarie LVDT-signal döms ut som felaktig. Vredet används om själva gasspaken fastnar rent mekaniskt.

3.7 Graceful degradation

En viktig princip när Gripen konstruerades var att planet skulle kunna tåla ganska svåra skador, bli av med flera system, förlora en eller annan generator, men ändå ska piloten kunna ta sig hem igen. Eventuellt på batteri.

Gripen har aldrig haft elektromekaniska flyginstrument utan är utrustad med tre (numera) färgdisplayer av LCD-typ (Glass Cockpit). Som du kanske vet har displayerna ett fallbackläge där de kan visa nödinstrumentering om viss elektronik, datorer, FADEC eller någon generator skulle fallera. Normalt förses de med information från 1553-bussen och visar en taktisk karta, radar, vapenvyer med mera, men i ett extremt läge stänger man av flera datorer och därmed även databussarna, för att spara ström.

För att kunna visa nödinformation behöver displayerna information om tryck, varvtal, dragkraft mm och det kommer ut från FADEC i form av diskreta signaler som går direkt till displayerna. Det finns tre displayer och de har alla samma fallbackfunktion, så det räcker faktiskt med att en av dem är hel för att piloten ska kunna ta sig hem igen.

Men fallback går djupare än så. Det går att flyga utan FADEC och då får man förlita sig på gasvajern för att kunna reglera kraften från motorn. Den mekaniska kalkylatorn i bränsleregulator GG har i detta läge tagit över bränsleregleringen och tillåts styra bränslet genom att FADEC släpper en solenoid och själv går i viloläge, alternativt har förlorat matningsspänningen helt.

Den mekaniska kalkylatorn går naturligtvis hela tiden och följer FADEC som en skugga, eftersom gaspådraget görs elektroniskt och mekaniskt samtidigt, och överkopplingen sker helt utan transienter av något slag.

3.8 Mekanisk kalkylator

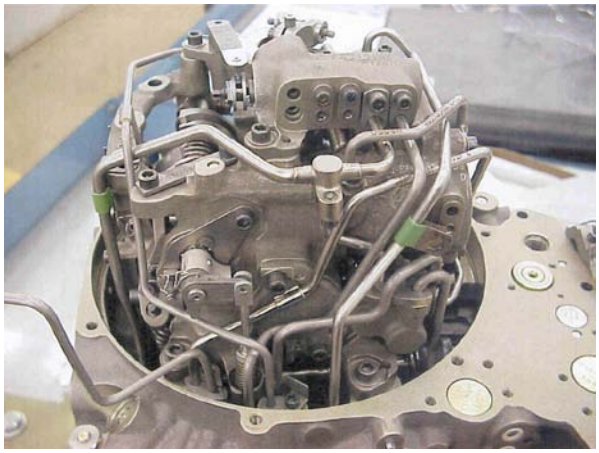
Det sitter mekaniska kalkylatorer på både bränsleregulatorn till GG och till EBK som utför tämligen avancerade beräkningar med hävstänger och kugghjul. Jäpp! Mekaniska datorer!! De är naturligtvis reliker från tidigare motorer, men är absolut tillförlitliga och fungerar i alla lägen, oavsett acceleration osv. De utgör en form av väldigt sofistikerad ingenjörskonst som väldigt få idag behärskar

Kalkylatorn för GG utför en mekanisk multiplikation, nämligen (beräknat bränsleflöde/PS3 * PS3) vilket är lika med reglerat bränsleflöde. (Referens för det beräknade bränsleflödet är varvtalet NH som temperaturkompenseras med hjälp av TT2,5.) Funktionen utförs av centrifugalregulatorer och kamskivor.

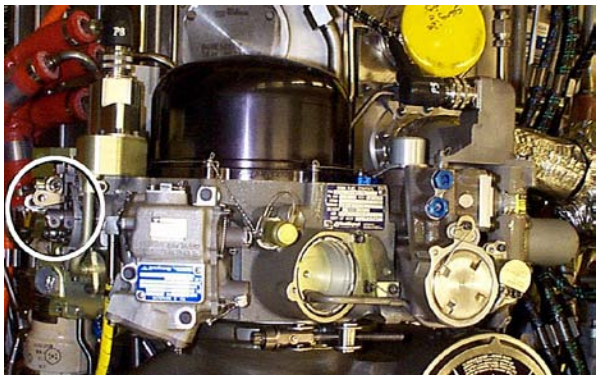
”Det går att flyga utan FADEC och då får man förlita sig på gasvajern för att kunna reglera kraften från motorn.”

Kalkylatorn för EBK utför istället en division och dividerar bort PS3 från bränsle/luft-förhållandet.

Resultatet av detta blir inte lika bra som om FADEC skulle ha gjort det och piloten får ta det försiktigt, men kan ändå ta sig hem till basen igen.



Den mekaniska kalkylatorn (här med kåpan avtagen) på bränsleregulatorn är inget mindre än en analog mekanisk dator som styr bränsleflödet mot gaspådraget om FADEC skulle gå ned eller bli skadad. Den kan inte göra lika avancerade saker som FADEC men piloten kan ända flyga hem. Den är en del av motorns graceful degradation. Den drar ingen ström och "kraschar" aldrig.



Monterad i flygplanet ser bränsleregulatorn ut så här (minus diverse delar). Den mekaniska kalkylatorn finns under den svarta huven. Gasvajern ansluts med en hävarm genom de två öglorna i den vita ringen och ställer vinkeln på en kamskiva inuti kalkylatorn. I övrigt har regulatorn sju tredimensionella kamfunktioner (det du!) och åtta tvådimensionella.

3.9 Bränslekylning

Enheter som sitter monterade nära motorn måste kylas eftersom motorn är varm. En viss del av insugsluften spolas i ett hölje runt motorn för att kyla denna och höljet är naturligtvis inte lika varmt som motorn, men tillräckligt varmt ändå.

Alla kritiska delar genomflyts därför av kylmedium. Intressant nog används flygbränslet som kylmedium, för det kommer från vingtankarna, som är kalla. FADEC drar cirka 50 watt el och eftersom den är helt försluten och inte har några kylflänsar, för sådana skulle inte fungera särskilt bra där den sitter, har den också kylslingor som genomflyts av bränsle. Hydrauloljan hålls också kall genom en oljekylare som genomflyts av bränsle.

3.10 FADEC

Så här mycket kan vi visa av FADEC, en stryktålig datorenhet som sköter hela motorn. De tre nipplarna mitt fram är anslutningarna för PS3, PS3B och PT5 och de röda plopparna längst ned är skydd för ledningarna till kylbränslet. Den vänstra är inlopp och den högra retur. Kablagen ansluts på högersidan.

Den förra versionen av reglersystemet, DEC (Digital Engine Control) hade nästan 20 år på nacken när Volvo Aero började utvecklingen av den nya elektronikenheten FADEC (Full Authority Digital Engine Control) år 1996. Det började bli svårt att få tag i reservdelar till DEC och underhållsarbetet måste förenklas. I flygplanet satt då också en AMOT (Anpassningsenhet Motor) med MIL-STD 1553-buss in från avioniksystemet. AMOT och DEC kommunicerade med diskreta signaler. De båda byggdes ihop till en enhet och man sparade både vikt och utrymme. DEC hade haft en massa isolermaterial, medan FADEC hålls kall med bränslekylning.

Datordelen har två 32-bitarsprocessorer och undertecknad gissar på att det är PowerPC. Dessutom sitter en processor i den modul som avläser de piezoelektriska tryckgivarna. Enheten är moduluppbyggd inuti, med moduler som kraftaggregat, analogkort och datorkort. För att vara framställd 1996 drar den väldigt lite effekt, cirka 50 watt och klarar alla säkerhetskrav, har EMI-testats till extrema värden, acceleration och låga tryck, you name it. General Electric och BAE i USA har på Volvos specifikation lyckats åstadkomma en mycket robust enhet.

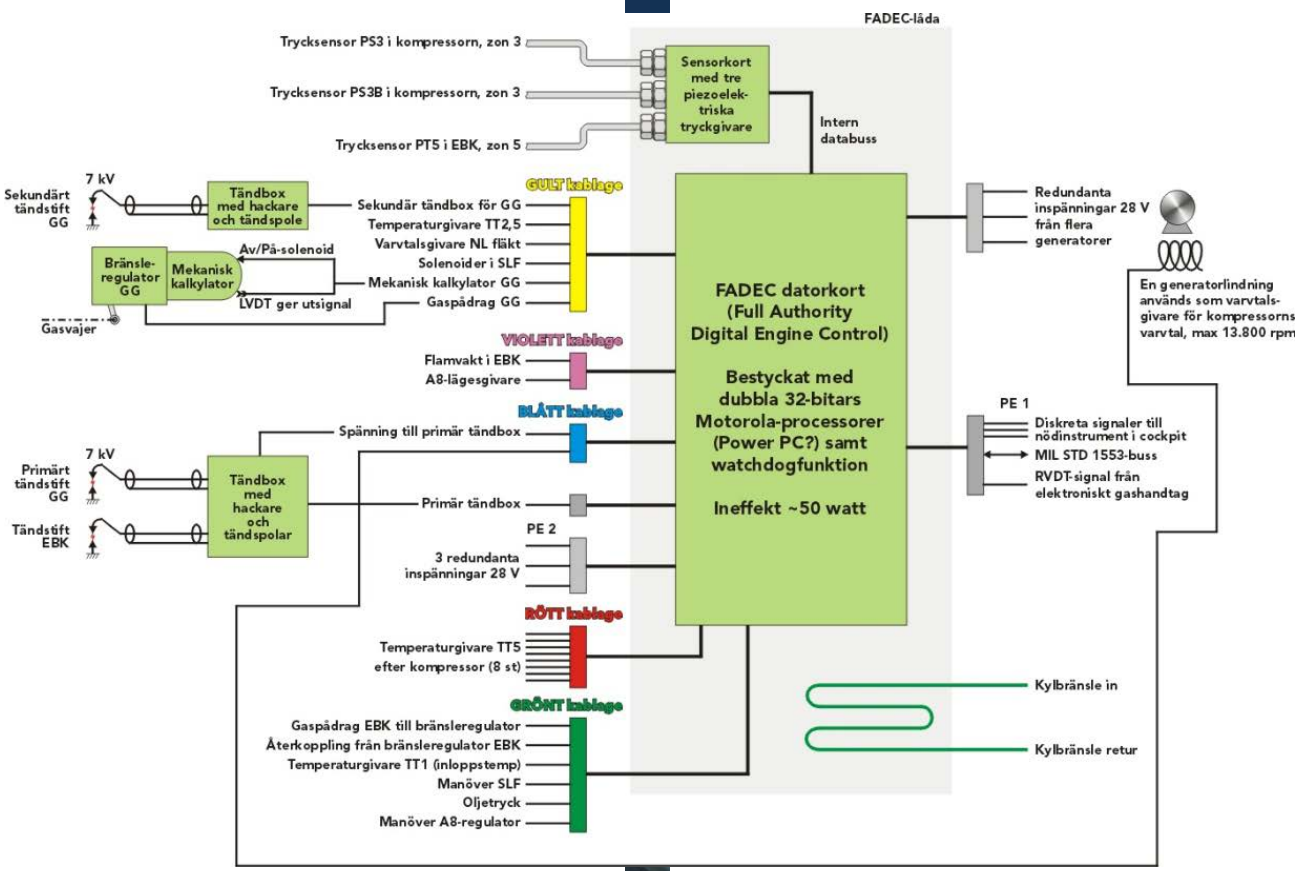
Processorerna är inte hypermoderna med dagens mått mätt, men de är mogna produkter och det är betydligt viktigare. Det rör sig inte om mikrosekunder i en flygmotor, utan de olika drivrutinernas tidsluckor ligger på millisekundnivå.

– Den blev inte billig, kommenterar Mikael Wilenius, men ändå billigare än att köpa och anpassa General Electrics befintliga FADEC till F414.

Watchdog-övervakningen är central i systemet. De båda processorerna övervakar varandra.

De tre trycken PS3, PS3B och PT5 kommer in som gastryck i tre rör till FADEC och leds till de tre tryckgivarna. Från motorns alla delar kommer in ett sammelsurium av både diskreta och analoga signaler på de olika kablagen.

”FADEC matas med ett antal redundanta spänningar, både från batteri och generatorer.”



Volvo har inte rätt att avslöja hur FADEC ser ut inuti, eller släppa ut några scheman, men så här mycket schema går att visa. Enheten har logiskt två moduler förbundna med en intern databuss. Notera särskilt ledningen från generatorn i blått kablage där man använder växelströmmen från generatorn till att mäta kompressorns varvtal med (se blockschemat).

Några ledare i gult kablage går till den mekaniska kalkylatorn GG, bland annat till solenoiden som kopplar in kalkylatorn om FADEC skulle gå sönder. Kylslingorna visar att bränsle används som kylmedium. Kablagen är sammansatta så att det ska vara logiskt att dra dem i motorn. De täcker inte några särskilda funktioner utan dras till olika områden av rent geografiska skäl.

Se särskilt rött kablage som går till temperaturgivarna TT5 i EBK. TT5 sitter lite för sig själva, avskilda från andra sensorer. Ledarna i det kablaget är av kromel-alumel eftersom de går till termoelement med just denna materialkombination.

Flygplanet ansluts med två kontaktdon, PE1 och PE2, den ena med drivspänning till FADEC, och den andra med databussen och olika diskreta signaler nödinstrumentering till cockpit. FADEC matas med ett antal redundanta spänningar, både från batteri och generatorer.

Via ytterligare ett kontaktdon kan man ansluta testutrustning, till exempel när man ska uppgradera programvaran i FADEC.

3.11 Start- och tändprocessen

Eftersom Gripen ska kunna starta från vägbaser måste den kunna starta själv, utan externt startaggregat. Därför har Gripen en APU.

Själva startprocessen börjar med att man med hjälp av batterier drar igång APU:n (Auxiliary Power Unit), en liten gasturbin, som börjar driva RM12 på en axel in i växellådan (se blockschemat). Växellådan sitter som bekant kopplad till RM12s kompressor via den vertikala axeln och kraften från APUn får alltså RM12 att börja snurra.

FADEC går först på batteri och växlar över till matning från generatorn när motorn kommit upp en bit i varv. Tändningen av motorn sker antingen med det primära tändsystemet (växelström från generatorn) eller med det sekundära tändsystemet (med 28 volt ström från flygplanet). Man växlar tändsystem efter varje flygning för att kontrollera systemen fungerar.

Så snart RM12 brinner av sig själv drivs hela flygplanet, inklusive FADEC och tändning från generator.

4. PROGRAMMERING, BUSSAR OCH UNDERHÅLL

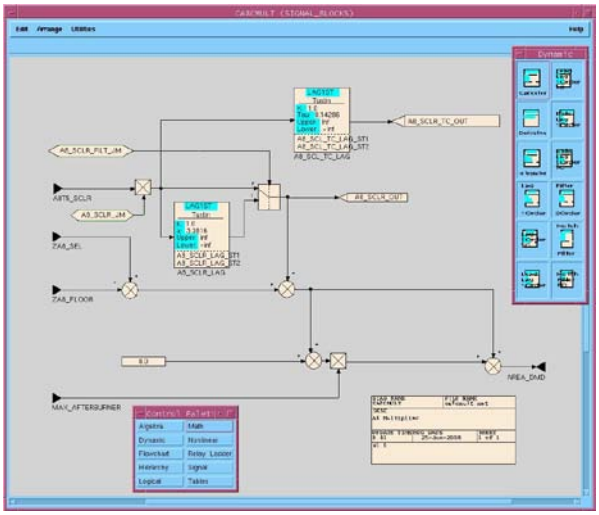
4.1 FADEC och ADA

Volvo Aero utvecklar själv programvaran för FADEC och arbetar enligt riktlinjerna i RTCA/DO - 178B som används för civilt flyg i USA av amerikanska luftfartsstyrelsen och har anammats av FMV för all programvara i hela Gripensystemet.

Programutvecklingssystemet för applikationerna är intressant. Det kallas Beacon och kommer från företaget Applied Dynamics International (ADI) och är ett grafiskt utvecklingsgränssnitt för computer-aided control system design (CACSD) där man bygger reglerkretsar i form av flödesscheman och sedan genererar källkod i programspråket C, som kan provas hos Volvo i olika provsystem.

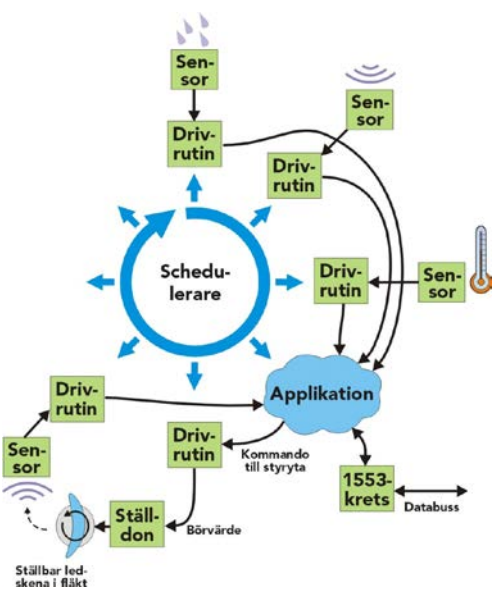
När man är nöjd överförs Beacon-schemorna till General Electric som genererar ADA-kod och kompilerar. Trots att koden är maskinskapad kontrolleras den av Volvos programmerare som om den vore handskriven, enligt kraven i RTCA/DO - 178B. Ja, det är inte ens ADA, det är ADA Safe där man tagit bort alla semaforer och realtidshantering.

”När man är nöjd överförs Beacon-schemorna till General Electric som genererar ADA-kod och kompilerar.”



Beacon är en kodgenerator och specifikationsverktyg för programmet till FADEC. Man bygger grafiskt ett reglersystem i Beacon, från vilketdet sedan skapas ADA-kod, vilket i sin tur kompileras till maskinkod som kan köras i FADEC. Just den här bilden visar det reglersystem som håller fullgas i EBK genom att på kommandot MAX_AFTERBURNER ställa in rätt utloppsarea (zon 8) med signalen AREA_DMD. Olika gränsvärden är med i beräkningarna och påverkar utloppssarean.

Programsystemet i FADEC saknar operativsystem helt och hållet, vilket inte alls är ovanligt i den här typen av styrsystem. Det finns inget kommandoradgränssnitt och liknande, utan systemet består av ett antal drivrutiner mot maskinvaran, en schedulerare som både ger drivrutinerna och applikationen som är själva reglersystemet, sina runburstar (körskvättar) med jämna, deterministiska mellanrum på ett par millisekunder vardera, ett så kallat pre-emptive-system. Vissa tidskritiska signaler läggs dock ut med hjälp av interrupt.



Drivrutinerna både hämtar in mätvärden från olika sensorer och matar ut börvärden till olika ställdon, som hydraulcylindrar och motorer för att efterkomma pilotens önskan.

Applikationen tar huvudsakligen pilotens gaspådrag som indata och ser till att leverera ett resultat i form av jämn dragkraft, oavsett vad som händer utanför, som ändrade tryck, temperaturer, massor etc. Tillbaka levererar applikationen mätdata som varvtal, dragkraft, flöden mm över databussen.

När jag säger Linux tittar utvecklarna bara fånigt på mig och undrar om vi lämnat avdelningen säker kod. Windows ingår inte i deras vokabulär över huvud taget.

4.2 Om flygplansbussen 1553B

I flygplan använder man sig inte av nätverk så som vi är vana vid från kontoret utan det handlar om bussnät av typen MIL-STD 1553B (Military Standard). Den brukar också kallas ”Digital time division command/response multiplex data bus, Revision B”. Den används i både civila och militära flygplan. Bussen består av en skärmad, partvinnad ledning där data överförs i så kallade ”meddelanden” på upp till 32 stycken 16-bitarsord, samt tre bitar för synk och en udda paritetsbit, alltså minst 20 bitar.

Den elektriska kodningen är av typen manchesterkodning som överför klocka och data samtidigt. Vidare är bussen dubbelriktad och styrs med ett kommando/svarsprotokoll av en central busstyrare, som pollar alla enheter (sk Remote Terminals) och frågar efter data.

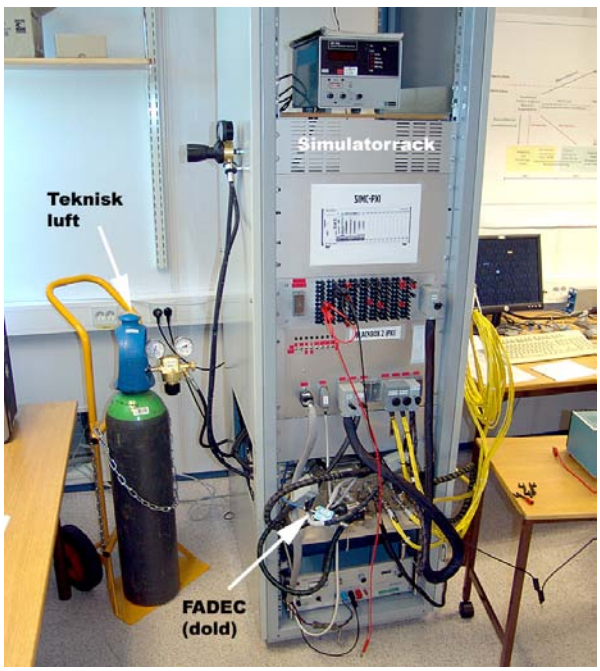
Viktiga enheter pollas oftare än oviktiga och busstyraren kontrollerar att överföringen gick bra. Dessutom finns en bussövervakare som spelar in alla kommandon och svar för senare analys. Hastigheten är i själva verket inte högre än 1,0 Mbps, men med fem redundanta bussar är det fullt tillräckligt för Gripen.

ARINC 429 är en annan typ av flygplansbuss som egentligen är en punkt-till-punktförbindelse som är vanligare i kommersiella flygplan, en klockad förbindelse som körs med 12,5 eller 100 kbps.

4.3 Utvecklingsverkstaden

Volvo provar ständigt FADEC och utsätter den för olika situationer för att se hur programvaran reagerar. Resultatet av provningarna leder till ytterligare programutveckling.

”Gastuben med teknisk luft som står bredvid används för att mata in tryck till FADEC från simulerade trycksensorer.”



På experimentverkstaden där man provar nyutvecklad programvara till FADEC finns en testrack som simulerar alla motorns signaler och matar dem till en FADEC för att stressa programvaran i denna. FADECen syns knappt bland tilledningarna vid A. Ovanför denna sitter olika labbdatorer som skapar utsignaler. Gastuben med teknisk luft som står bredvid används för att mata in tryck till FADEC från simulerade trycksensorer.

5 ÖVRIGT

5.1 Bergrummet (serviceverkstaden som inte behövdes)

En tekniker betraktar insugsfläkten. Det blå röret är bränsleintaget och den runda enheten inunder är A8-regulatorn som styr A8-manövercylindrarna som ställer utloppsarean i zon 8 i efterbrännkammaren. Notera också de stälbara ledskenorna vars vridmeknism ligger som en flätad krans runt motorn.

Volvos tekniker visar gärna upp sin stolthet, motorverkstaden nere i bergrummet 30 meter under jord (även om jag inte kan visa upp det här). Under kalla krigets dagar beslutades att motordelar till flygvapnet skulle tillverkas, förvaras och underhållas i atombombssäkra bergrum och Volvo i Trollhättan byggde ett sådant. Idag är hotbilden inte densamma som på sextiotalet men bergrummet används fortfarande. Det är givetvis dyrt att underhålla men här nere finns massor av installationer som skulle vara ännu dyrare att flytta upp på marken.

Bergrummet är fullt modernt utrustat, lokalerna är ändamålsenliga och så obehagligt rena att man knappt vågar hosta. Rummet är uppdelat i tre delar: produktion av nya motorer, underhåll av motorer och experimentverksamhet. Här och där står också tidigare motorer, som viggenmotorn RM 8 som är en enorm, manshög bjässe med sex meters längd, några mumsiga stjärnmotorer och annat som får munnen att vattnas.

RM12 är indelad i sju moduler för att underlätta inskick av trasiga delar till Volvo, nämligen (från vänster) fläktmodulen, kompressormodulen, brännkammarmodulen, lågtrycksturbinmodulen, högtrycksturbinmodulen, efterbrännkammarmodulen, och under motorn växellådsmodulen.

Det är tämligen tomt på underhållsavdelningen för RM 12 blev lite för bra. Den går helt enkelt inte sönder lika mycket som man räknat med. Motorn är uppbyggd i moduler och kan plockas sönder ute på flygflottiljerna, varefter bara den trasiga modulen skickas in för service. Bra idé, men eftersom motorerna så sällan går sönder har man funnit det onödigt kostsamt med en underhållsavdelning på varje flottilj och skickar istället in hela motorn. I och med detta kan Volvo också passa på att göra uppdateringar på resten av motorn när den kommer in på service.

Ett exempel på detta är förslitningen av lagren och de metallrester som hamnar i smörjoljan. Som det inte finns några. För att vara ute innan det har blivit för sent mäter man förslitningen av lagren genom att analysera smörjoljan som pumpas runt i motorn. Oljetanken är en burk på åtta liter som har ett nivåfönster man kan titta in igenom, en oljenivåmätare och en magnetisk oljeplugg i botten. Eftersom oljan aldrig tycks läcka ut har man tagit bort programvaran som tittar på nivåmätaren, även om oljetrycket naturligtvis mäts kontinuerligt.

Magnetpluggen i oljetankens botten ska skruvas ut efter varje flygning och kontrolleras, men ännu så länge har man aldrig hittat några farliga flisor där.

På flera ställen på motorn finns inspektionsluckor som kan skruvas bort när motorn ska kontrolleras inuti utan att behöva demonteras: boroskopering. Det är betydligt mindre kostsamt att bara kika in genom ett hål än att plocka motorn i småbitar.

5.2 Stealthiga detaljer

SAAB vill absolut inte att man fotograferar Gripens inloppskanaler till motorerna och det beror på att de utformats så att radarstrålning inte ska kunna studsa ut därifrån igen. Dopplerradar används för att urskilja rörelse och insugsfläkten är en bra indikator på att radarn träffat på en jetmotor. Därför är inloppskanalerna utformade så att radarstrålning som går in inte kommer tillbaka.

Flamhållaren är den detalj som normalt blir varmast baktill i motorn, som värmesökande robotar riktar in sig på (inte flamman, som man skulle kunna tro, för den omges av kylluft). Volvos flamhållare genomflyts därför av kylluft (se utvecklingshistoriken). De bakre kompressorbladen blir också varma, men sitter längre in och är inte lika intressanta för värmesökande missiler.

5.3 Så här började det

Den svenska flygmotorindustrin startade i april 1930 med ett officiellt brev från svenska Flygstyrelsen. Det var ett kort brev, bara sex rader, där man beställde 40 nio-cylindriga flygmotorer från lokomotivtillverkaren Nydqvist & Holm i Trollhättan.

Lokomotivtillverkarna bildade snabbt ett nytt bolag för jobbet, NOHAB Flygmotorfabriker AB. Motorerna var avsedda för ett svenskt flygvapen, som då endast existerade på papperet.

Den första svenska flygmotorn, som hade beteck-

ningen MY VI, var klar för slutprover i slutet av 1932 och leveranser gjordes till och med 1934 då den ersattes med serieproduktion av MY VII (Pegasus II).

Efter att det svenska försvarsbeslutet 1936 antagits, tog ansträngningarna att skapa ett svenskt flygvapen ny fart och nya fabriker byggdes för både flygplans- och motortillverkning. Denna militära verksamhet skulle sedan visa sig lägga grunden till den svenska civila flygindustrin och dess tillväxt.

AB Volvo i Göteborg förvärvade aktiemajoriteten 1941. Samma år ändrades företagsnamnet till Svenska Flygmotor AB. På 40-talet gick kolvmotorns tid mot sitt slut och den svenska flygmotorindustrin tog steget in i jetåldern.

5.4 Sen gick det som det gick

Volvo utrustade därefter alla svenskbyggda stridsflygplan med motorer: Tunnan, Lansen, SK-60, Draken, Viggen och så nu Gripen.

Grattis! Du har nu klarat grundkursen för underhåll av reamotorer och kan gå vidare och ansöka om arbete på Volvo Aero.

6 REFERENSDEL

6.1 Så går du vidare

Volvo Aero presenterar sig på www.volvo.com/volvoaero/se/sv-se
Fakta om F404 hos General Electric: www.geae.com/engines/military/f404/
SAAB om Gripen: www.saabgroup.com/en/index.htm och leta vidare efter Gripen
Försvaret: www2.mil.se/sv/Materiel-och-teknik/Flyg/Stridsflygplan-JAS-392
ADI utvecklar kodgeneratorn Beacon: www.adi.com
MIL-STD 1553B beskrivs på en.wikipedia.org/wiki/MIL-STD-1553
ARINC 429 beskrivs på en.wikipedia.org/wiki/ARINC_429

FMVs handbok för säkerhetskritiska programsystem "H Progsäk 2001" skulle nog fler än Volvo Aero behöva läsa. Ta hem den från: www.fmv.se/WmTemplates/Page.aspx?id=255

Vad som sitter i andra änden på databussen:

Artiklarna
"JAS 39 Gripen - ett datoriserat under" från Nätverk & Kommunikation 04/2000 och SAAB 2000 "Flygmekanik ger vika för digital redundans" från Nätverk & Kommunikation 16/2003 hittar du i rutan FILER uppe till höger.

En annan FADEC: www.precisioneng.com/products/control-systems/fadec

6.2 Snabbdata om motorn RM12

En turbofläktmotor med trestegs fläkt och sjustegs kompressor vardera drivna av en enstegsturbin. Tack vare de styrbara ledskenorna är den extremt okänslig för tryckförändringar och sk pumpning.

Prestanda
Dragkraft gasgenerator: 54 kN
Bränsleförbrukning: 1,2 kg/s
Dragkraft med EBK: 80,5 kN
Bränsleförbrukning: 4 kg/s
Dragkraft tomgång: 1,45 kN

Mått och vikt
Längd över allt: 4,04 m
Max diameter utlopp: 0,884 m
Diameter inlopp: 0,709 m
Vikt: 1055 kg
Bypassförhållande: 0,31
Kompressionsförhållande: 27,5

6.3 Snabbdata om Gripen

Multiroll-plan för jakt, attack och spaning

Mått
Längd: 14,9 m
Spännvidd: 8,4 m
Höjd: 4,5 m

Vikt
Starttomvikt: 7000 kg
Max yttre last: 5300 kg
Max startvikt: 14000 kg

Bränsle
Flygfotogen MC 75 (en blandning av fotogen och bensin)
Vingtankar: 3000 l
Extratankar: 3500 l

Prestanda
Maxfart: Mach 2
Räckvidd: >3000 km
Belastning: 9 G
Startsträcka: 400 m
Landningssträcka: 500 m
Tid till 1000 fot: <1 min
Tid till 10.000 meter <2 min

Läs mer om Gripens styrsystem, dvs allt som sitter i andra änden av databussen, i min artikel i Nätverk & Kommunikation 04/2000: "JAS 39 Gripen – ett datoriserat under" och titta på resultatet av detta på min webbplats www.qedata.se > Tjänster > Artiklar > Bakgrund.

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

Vad ska man säga? Gripen är fortfarande det vackraste svensk industri har producerat. Tyvärr vill media helst fokusera på skandaler, misslyckad försäljning, ”muthärvor”, och nu senast, ett par kraschade Gripar i Ungern. Det är populärt att klassificera mindre tillbud som ”krasch” – det handlar naturligtvis om att svenska journalister inte är tekniker och inte kan skilja en FADEC från en LVDT om de så ramlade över dem.

Det senaste, den tionde juni, var att ett landningsställ inte ville fälla ut sig, så piloten fick hoppa i fallskärm på landningsbanan (tinytw.se/svtgripen). Till och med Wikipedia-artikeln fokuserar först och främst krascher och politiska affärer i stället för den fantastiska tekniken.

Efter mina artiklar har Gripen NG (Next Generation) tillkommit, med modellerna 39E (ensitsigt) och 39F (tvåsitsigt), med större skrov, ny motor (F414G föreslagen), ny multimode-AESA-radar, ökad bränslekapacitet, högre lastkapacitet, nytt landningsställ, uppdaterad cockpit med head down-skärmar, förbättrad flygavionik, krypterad kommunikation och anpassning för Nato. Svenska Sectra i Linköping har fått vara med och utveckla den nya krypterade länken.

En annan fördel med Gripen E är att sammansättningen simulerats i cad-program, vilket fått allt att förlöpa smidigare än förr, då allt handritades. Fast det har ju bil- och flygplanstillverkare använt sig av länge (tinytw.se/nytekflyg).

Framtiden lovar emellertid spännande utveckling: en förarlös version av Gripen. Och både Finland och Indien kan tänkas köpa planet framöver.

Undertecknad har också sniffat lite på simulatorgruppen Swesims Gripen-simulator – se http://tinytw.se/flygskriv

Färisten håller de elaka fåren borta från SGSI

När de lagvårdande myndigheterna kommunicerar med sina motsvarigheter i EU via internet är det stark kryptering som gäller. I Sverige heter krypteraren Färist. **Text, foto och grafik: Jörgen Städje Illustration: Jonas Englund**

Tänk dig en samling ljusskygga herrar klädda i trenchcoat runt ett mörkt bord på en sjabbig sylta i hamnkvarteren. Vi ser inte deras ansikten på grund av de mörka glasögonen och slokhattarna de har djupt neddragna. Röken ligger tät i lokalen och den nakna glödlampan över bordet sprider ett bristfälligt ljus över oss och våra anteckningar.

Vi har stämt träff med några som lovat att berätta ”intressanta saker”. Sorlet maskerar vårt samtal. Vi känner dem bara till förnamnen, vi kan kalla dem Arne[1], Jens[2] och Eric[3] och det är inte lätt att få något ur dem. Några tummade papper byter ägare och samtalet kommer igång.

Vi talar om skyddsvärd myndighetsinformation och datornät som är kapabla att överföra den utan att röja den. I ett antal mindre lyckade it-projekt som Orion, Atle-IS, LI FV och LIM, alla utdömda av Riksrevisionsverket 1997, har medverkande myndigheter visat sig besitta precis samma egenskaper som alla andra it-utvecklare (förseningar, dubbelarbete, metod- och kunskapsbrister, budget-

Fotnot

[1] Arne Jonsson, signalskyddssamordnare på KBM.
[2] Jens Bohlin, chef för it-säkerhetsutvecklingssektionen på MUST, Militära underrättelse- och säkerhetstjänsten.
[3] Eric Malmström, konsult på Sentensia Q.

Tiger som muren. En till synes oskyldig blå låda skyddar svenska statshemligheter.

Okomplicerat. Inuti döljer sig inget särskilt. Det är en helt vanlig pc, om än i miniatyr, med en liten hårddisk.

överskridanden). Nu kanske vi till sist har kommit en riktig goding på spåren: Swedish Government Secure Intranet (SGSI) och brandväggen och kryptoenheten Färist, tillsammans ett bergsäkert ip-vpn. Nätet framförs på fiber som övervakas av Telia Sonera, medan Krisberedskapsmyndigheten (KBM) är systemägare.

För kommunikation med EU

Nätet används för kommunikation i samarbetet mellan ”vissa myndigheter”, bland dem de rättsvårdande som kriminalvården, domstolarna, Tullen och Polisen. Det används också i kommunikationen med kollegerna i EU kring speciella projekt, till exempel bekämpning av terrorism, gränsöverskridande brottslighet och olaglig migration. EU:s motsvarighet kallas Trans-European Services for Telematics between Administrations (Testa) och är också ett privat ip-vpm med växlar som förbinder de nationella, säkra näten. Det är helt enkelt för att förhindra att myndighetstrafik mellan medlemsländerna tvingas ut på internet.

Det är ju inte direkt någon brist på nätverk i Sverige. Vad är det som är speciellt med SGSI, undrar vi.

– SGSI ger hög grundläggande säkerhetsnivå, garanterad tillgänglighet och redundans utan behov av internet. Flera myndigheter anser att de i en krissituation inte kan förlita sig på internet eftersom tillgängligheten inte kan garanteras. Viktiga knutpunkter och webbplatser kan bli överbelastade, vilket kan fördröja eller förhindra viktig myndighetstrafik. Det blev billigare för alla att gå samman om ett högsäkert svenskt nätverk än att var och en skulle ansluta sig till Testa, säher Arne.

Innan SGSI går ut ur landet i form av dubblerade anslutningar till Testa skalas den svenska krypteringen bort av två Färister i överlämningspunkten i Rikspolisstyrelsens källare och ersätts med EU:s kryptering.

Tar bort kryptering

På samma sätt tas kryptot bort ute hos de anslutna myndigheterna. SGSI:s avlämningspunkt är alltid ett avskilt nätverkssegment som bara har Färisternas klartextände och utsidan av myndighetens brandvägg anslutet.

Ingen av de anslutna myndigheterna i SGSI har insikt i Färistens inre, eftersom allt systemunderhåll sköts av Försvarsmakten logistik (FMLOG). Militära underrättelse- och säkerhetstjänsten (MUST), som gjort specifikationerna, tiger som muren. Nycklar och certifikat utges av MUST och tilldelas SGSI-myndigheterna av KBM efter en granskning för att man ska vara säker på att den nytillkomnas säkerhetsnivå är tillräckligt hög.

– Hos den anslutna myndigheten kommer det in två fibrer i byggnaden på olika vägar. På dem sitter Teliaroutrar och två Färister som ska vara anslutna till ett segment som via en brandvägg är avskilt från myndighetens övriga nätverk. Den brandväggen ska också skydda SGSI från internet. Man kan få 2 till 10 megabit per sekund och upp till 99,6 procents tillgänglighet.

Och om du undrade: Nej, vi kan inte visa någon nätverksmaskinvara, eftersom den befinner sig i kryptorummet hos Rikspolisstyrelsen på Kungsholmen i Stockholm. Artikelförfattaren har sett det rummet en gång genom en glasruta, men en varnande hand på kameran gjorde att han missade alla scoopbilder. Efteråt tvingades han tvätta ögonen med tvål och äta upp filmen.

Färisten certifierad

Som första svenska produkt godkändes Färist Brandvägg 2002 enligt Common Criteria och hamnade på säkerhetsnivå EAL3, med EAL4+ på gång före sommaren. Det var tyska BSI som testade och godkände Färist release 2.0.2 under Free BSD version 3.5.1, så som den tillverkats av Tutus Data.

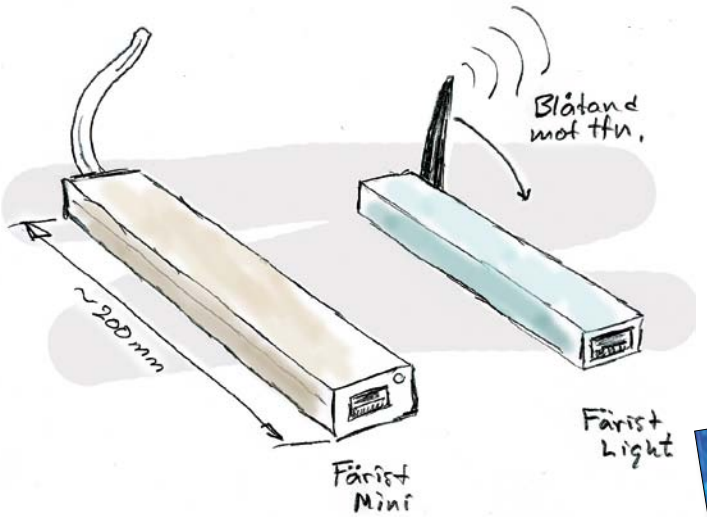
Försvarsmakten framhåller att det inte alls rör sig om de vanliga brandväggsmodulerna i Free BSD utan att man plockat bort en del av dem och lagt till egna grejor, för att ha full koll på alla program.

Färist innehåller en proxyserver som helt och hållet plockar sönder alla ip-paket, undersöker dem samt sätter ihop nya och skickar ut. Tutus påstår att det stoppar alla ip-baserade attacker. Vi tillåter oss tvivla, men förfarandet är det bästa som finns.

SGSI är ett krypterat nät och den enda funktion som används i Färisterna är krypteringen (vpn). Dessutom har man ställt

6 säkra fakta kring SGSI och säkra nät

- Ett krypterat privat nät för känslig myndighetsinformation och EU-hemligheter med hög tillgänglighet.
- Internet släpps inte in, vilket gör nätet robust.
- SGSI ställer säkerhetskrav på de anslutna.
- Färist var första svenska produkt att bli CC-godkänd.
- ”Fickkrypton”, en liten och bärbar variant av Färist, kommer inom en nära framtid, med samma säkerhetsstandard som den ”stora”.
- Följer LIS, KBM:s BITS och BITS Plus samt ytterligare skärpta säkerhetskrav. Ingen släpps in utan att övriga känner tillit för denne.



Mikro och Nano. De här nya konceptprodukterna fick vi inte ta bilder av, men vi kan ju inte hjälpa att vi har fotografiskt minne.

”Färisten började utvecklas redan 1996, avsedd för Försvarets ip-nät, i huvudsak för att få ned priset”

Jens Bolin, chef för it-säkerhetsutvecklingssektionen på Militära underättelse- och säkerhetstjänsten

Klarar du krisen? Beställ BITS från Krisberedskapsverket och undersök om du klarar en kris. Om inte, gör något åt saken.

särskilda krav på hur den får administreras. I sin militära version heter kryptot PGAI (Programvarukrypto Gemensamt typ A Internationellt), men mycket mer än så får vi inte ur Jens. Till skillnad från kommersiella krypton som rsa och aes med öppna specifikationer är de svenska militära kryptona hemliga, vilket sannolikt gör dem mer svårknäckta.

Rätt trafik får passera

”Färist” är ett finurligt namn på en brandvägg och vpn-enhet. Ordet ”brandvägg” syftar ju till en byggnadskonstruktion som håller allt ute, medan färisten är avsedd att bara låta nyttig trafik passera.

Endast kryptoenheter som är nationellt godkända får användas för överföring av sekretessbelagd EU-klassificerad information och i Sverige är det Försvarsmakten som godkänner. Brandväggar klassificeras beroende på vilken skada utläckt information kan åsamka staten (eller EU och dess medlemsländer), och de klasser (signalskyddsgrader) som finns är Restricted, Confidential, Secret och Top Secret. Information som skickas inom Försvaret (och Nato) klassificeras på samma sätt, beroende på hur hemlig den är. SGSI, Testa och Färist är anpassade för nivån Restricted, varför den senare får kallas Färist Restricted.

Jens fortsätter att berätta om utvecklingsarbetet:

– Färisten började utvecklas redan 1996, avsedd för Försvarets ip-nät, i huvudsak för att få ned priset under gängse appliances, eftersom Försvaret behövde så många.

Dessutom ville man ha administrationsfunktioner som då inte fanns i cots-apparater (commercial off the shelf, färdiga produkter att köpa) och möjligheten att skriva egna proxies för protokoll. Efter denna långa utvecklingstid känner man stor tilltro till konstruktionen och har kunnat göra den till en kryptoenhet (Restricted Färist), vilket man inte kunnat göra med cots. Till exempel finns inga fallbacklägen där Restricted Färisten går över i klartextläge.

Myndigheterna ligger före

Man brukar ju allmänt sparka på myndigheterna och hävda att de är ligger långt efter privatföretagen i datorfrågor, men här har vi ett exempel på att det kan bli helt tvärt om.

Eftersom ingen myndighet kan säga vem som är säkrast, eller ens vem som är säker, finns en checklista som ska följas för att man ska få kallas för säker, varefter alla som ska vara med på SGSI får sitta med i en ackrediteringspanel och bedöma varandras säkerhet. Avsikten

Färist VPN (Restricted Färist), allmänna data

» **Allmänt** – Kapacitet på upp till 150 megabit per sekund (på en 2,8 gigahertz Pentium 4-processor).
- Upp till 40 megabit per sekund som appliance 40100c4CF.
- Inbyggd failover för hög tillgänglighet.
- Baserad på standard-pc-arkitektur med Free BSD.

» **Kryptering** – Kryptering med 168-bitars 3 des eller 256-bitars aes Automatiskt nyckelutbyte med rsa-certifikat.
- Upp till 500 samtidiga vpn-tunnlar.
- Data kan krypteras flera gånger för passage genom flera vpn-lager.

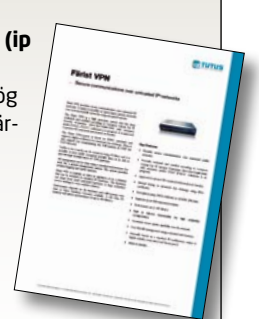
» **Standarder** – ip v4, ipsec esp (rfc 2406) i tunnel-mode.

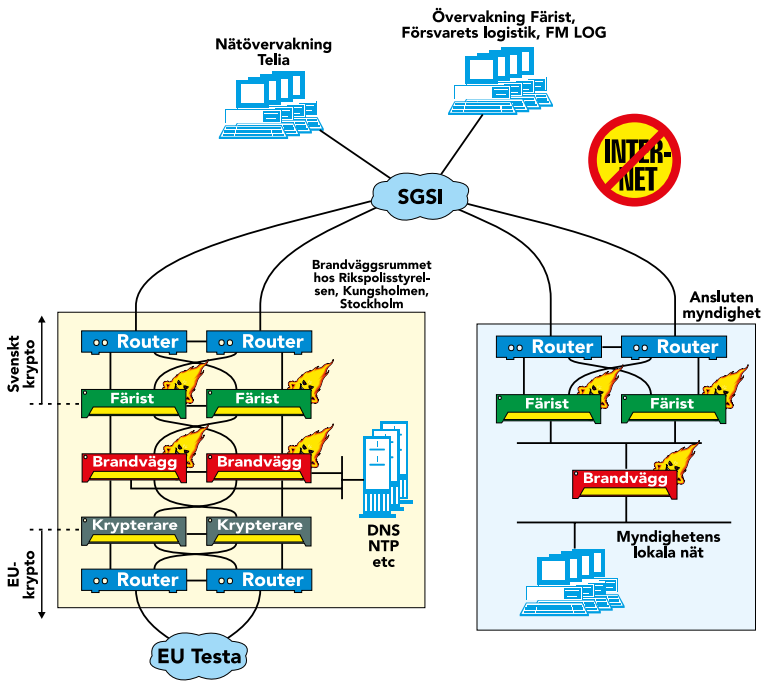
» **Administration** – Kan uppdateras säkert över nätverket https-baserad administration via webbläsare med certifikat.

» **Pris** – Priset för den civila enheten kommer att hamna på ungefär 2 000 kronor per enhet.

Färist FW
Proxybaserad brandvägg med hög assurans. Proxy finns för ett 20-tal standardprotokoll. Brandväggen har även stöd för specialprotokoll som Citrix ICA och Lotus Notes. Den har ett väl utbyggt ramverk för att snabbt och enkelt kunna bygga kundanpassade proxies för specialprotokoll. Finns både i kompakt utförande och för rackmontage med prestanda upp till cirka 700 megabit per sekund.

Restricted Färist (ip vpn krypto)
Ett system med hög assurans som utvärderats och godkänts enligt Common Criteria for IT Security Evaluation (ISO/IEC15408:1999). Den är godkänd för överföring av Restricted EU-information inom Sverige. Vpn-systemet är baserat på ipsec med stöd för digitala certifikat för automatiskt nyckelutbyte. Är en helsvensk produkt.





Två sladdar in. Dubblerade ledningar kommer in från EU-nätet Testa till Rikspolisstyrelsen, RPS, i Stockholm. RPS datorhall valdes för att den uppfyllde de högt ställda säkerhetskraven. Vpn-enheterna och routrarna är korskopplade och kan ta över från varandra. Dns, nätverkstid med mera injiceras hos RPS och förs också krypterat över SGSI-nätet. KBM:s avlämningspunkt ute hos de anslutna myndigheterna ligger strax efter Färistarna och det är upp till var och en att skydda sig från eventuella hot från andra myndigheter genom att ha egna brandväggar. Försvarsmakten logistik (FMLOG) sköter systemövervakningen av Färistarna.

är att alla inblandade ska känna tillit till varandra, om någon missköter sig kan de ju skada andra på nätet.

Bara när alla är överens om att alla parter är tillräckligt säkra kan de släppas in på SGSI. Ett lovvärt initiativ som andra borde ta till sig.

– Tänk om de kommersiella företagen kunde göra så, innan de anslöt sig till internet, inflikar vi sarkastiskt.

Skratt runt bordet, som dock övergår i bistert rynkade nunor när vi talar om kraven.

Få skulle klara kraven

KBM har publicerat en basnivå för informationssäkerhet (BITS), ett surt, salt och beskt dokument som väldigt få företag skulle uppfylla, om de vore dumdristiga nog att undersöka saken. Ta bara kraven på sidan 15: ”Ledningen ska tillgodose behovet för informationssäkerhet” och omöjligheterna fortsätter med ”Samtliga informationssystem ska vara förtecknade och godkända av ledningen” och ”Av förteckningen ska framgå vilka system som är viktiga för verksamheten även vid störningar och kriser”. För de flesta sprickerdet helt och hållet på sidan 17: ”Det ska finnas dokumenterade regler för tredje parts åtkomst till information eller informationssystem”. Dessutom finns verktyget BITS Plus som kan alla kan använda för en sårbarhetsanalys av sina system. Efteråt matar BITS Plus ut färdiga informationssäkerhetsanalyser för varje system.

Kryptering på resan

Säg att du är Färistare och behöver vara hemlig på resan. Ta med sig en bärbar pc går bra, men hur ansluter man sig genom vpn? Det normala när man sitter på ett hotellrum eller en flygplats är att man skaffar sig tillgång till internet genom en betalsida och därefter kan man starta sitt vpn.

För att kunna se den där första betalsidan hade man behövt ett ”hål” genom kryptot. Det tillåter inte Färist. Den har inga (kända) säkerhetshål.

Tutus håller på med två pc-baserade fickmodeller. En är stor som två stora tändsticksaskar med en utp-kontakt i var ände och den andra är stor som två små tändsticksaskar med usb och en antenn för bluetooth. Vad de innehåller för operativsystem och vilken maskinvara som finns inuti är en hemlighet, men det står alldeles klart att de inte har hårddisk.

Visst skulle man kunna ha en bärbar växel och en extra bärbar pc med sig, använda den för att skaffa sig åtkomst och sedan övergå till den krypterade pc:n när man betalt. Men vem springer runt med två bärbara? Vi väntar intresserat på en lösning.

Säkrare än mycket annat

Krisberedskapsmyndigheten har här tagit ett nacksving på informationssäkerheten som få andra kan komma ens i närheten av, utom Försvaret själva. Med särskild kryptomaskinvara, icke penetrerbar militär administration och fullständig frihet från internet och dess tillgänglighetsproblem flyter EU-hemligheterna fram långt säkrare än något annat i vårt avlånga land.

Vi tackar de tre herrarna för dessa insikter. De nickar omärkligt, reser sig, drar ihop rockarna och försvinner bortåt i dimman. Vilka var det? Vem vet? Nu syns de inte längre ...

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör och teknikhistoriker. Han nås på jorgen.stadje@techworld.se.

Så går du vidare

» Krisberedskapsmyndigheten hittar du på **www.krisberedskapsmyndigheten.se.**

» Ladda ned BITS: **www.krisberedskapsmyndigheten.se > Ämnen > Informationssäkerhet > BITS respektive BITS Plus**

» Ett sammandrag av KBM:s svidande kritik mot svensk it-säkerhet i allmänhet: **www.studio.idg.se/17.108/2.1085/1.97639.**

» Svenska Tutus producerar Färistar: **www.tutus.se**

» Läs om varför FMV valde Free BSD: **www.statskontoret.se/upload/2675/op0405winberg.pdf.**

Alla länkar finns klickbara på **techworld.se/lankar.**

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

Skydd av militär elektronisk kommunikation blir allt viktigare, behovet ökar exponentiellt hela tiden. Sverige har fått en ny trollarmé att skydda sig mot och angreppen från våra kamrater i öst, och dem ännu längre bort i öst, ökar lavinartat. Det går inte en vecka utan att man läser om något nytt angrepp mot militära datorinstallationer.

Tutus Data AB:s Färist är en bra grej som verkar hålla stånd genom åren. Man hittar den lite här och var i försvarsinstallationer såväl som i statliga nät, till exempel SGSI (Swedish Government Secure Intranet). Den introducerades 1997 och har uppgraderats kontinuerligt sedan dess. 2002 blev den första svenska produkt att godkännas enligt Common Criteria EAL4+ och 2008 blev den första svenska produkt att godkännas av svenska CSEC – Sveriges certifieringsorgan för it-säkerhet, en del av FMV. (tinytw.se/fmvcsec).

Den finns i en grbrgr-version som klarar MIL-standard (M9690) och i en helikopterversion (M3010). Försvaret har också godkänt ett antal Androidbaserade smarta telefoner och plattor med Färist-utbyggnad, kallade Färist Mobile, där krypteringen alltid är på.

Du finner också en Färist längst ned i kommunikationsracken i korvetten Visby – se avsnittet Datorer och dataöverföring i artikeln tinytw.se/visby2

Läs mer i ”Så signalspanar Sverige” (tinytw.se/signalspan), och ta gärna en titt på Tutus webbplats (tinytw.se/farist). ”Made in Sweden” står det där – allt roligt kommer inte från Kalifornien!

Kiselkarbid is a girl's best friend

Kiselkarbid är mest känt som ett mycket hårt slipmedel. Men det var innan man började tillverka rena kristaller av ämnet. Slipskivan kan nu göras om till en processor på hisnande fem gigahertz.

TEXT: JÖRGEN STÄDJE

En kristall av kiselkarbid (SiC) har en hårdhet nära diamantens och ser dessutom ut som den eftersom de båda ämnenas brytningsindex skiljer väldigt lite. SiC är faktiskt världens näst hårdaste material (9,25 Moh). Som smyckematerial kallas det ”Moissanite” och har till och med bättre optiska egenskaper än diamant.

Allt det här är dock mest en rolig bieffekt för en halvledartillverkare som exempelvis svenska Acreo i Kista. Deras Mosfet klarar 10 ampere och 600 volt, men är på väg mot 300 ampere och 1 500 volt.

Det är väldigt mycket mer än dagens kiseltransistorer klarar och vägen ligger öppen för mer effektiva switchaggregat och frekvensomriktare för motorstyrning i till exempel hybridbilar eller vindkraftverk. De senare måste i dag gå med konstant hastighet för att generera 50 Hertz (läs: bromsas om det blåser för mycket), men med frekvensomriktare kan hastigheten variera med vinden.

Dioderna lyser i 600 grader

Materialet tål som sagt höga temperaturer och strålnivåer och lämpar sig därmed för sensorer som ska tåla höga temperaturer i avgassystem, strålningståliga kretsar för militärt bruk och högfrekventa sändarslutsteg i basstationer, för att inte tala om processorer för rymdbruk där strålningen från solutbrott ofta är det som förstör elektroniken.

Möjliga arbetstemperaturer upp till 300 grader och det faktum att switchtiderna inte påverkas av temperaturen öppnar för kompaktare, tätare kretsar. Nasa har använt SiC i upp till 600 grader för enkla lysdioder. Materialet glöder! Och lyser.

Det amerikanska företaget Intrinsic (som köpte det svenska innovationsföretaget AMDS AB som började utvecklingen av HF-transistorer i SiC) tänker sig kunna driva upp switchfrekvensen i switchaggregat till 20–30 megahertz, vilket kan krympa aggregatet radikalt (betydligt mindre transformatorer och kondensatorer). Amerikanska armén har beställningar ute på hoppfrekvensutrustning som ska klara av att hoppa mellan 30 megahertz och 3 gigahertz med full uteffekt. Slutsteg som kan sända mellan 2 och 6 gigahertz för bredbandig radar är önskemål.

Kiselkarbiden är den direkta anledningen till att vi har blå lysdioder i dag. Man hade provat med massor av olika kiselföreningar, men inte förrän SiC kom in i bilden kunde blå lysdioder tillverkas med bra verkningsgrad och därmed till låga priser. Beviset för detta är att snart sagt varenda konsumentapparat i dag lyser blått.

Lysdioder kan enkelt tillverkas på ledande substrat, medan högfrekvenstransistorer kräver isolerande substrat. Det problemet är alldeles nyligen löst. De blå lysdioderna har öppnat vägen för lysdiodbildskärmar och projektorer med mycket hög ljusstyrka, utan särskilt kylbehov.

> ”En processor i kiselkarbid kan glöda men exekvera bra ändå.”

Ljus framtid för processorerna

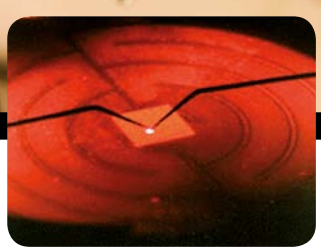
Gigantteveapparaterna som sitter ute på stan vore inte möjliga utan de blå lysdioderna. Flera amerikanska städer som är med i LED City-projektet har gått över helt till eller börjat införa lysdioder i stadsbilden, som gatlyktor, effekt- och säkerhetsbelysning, i trafiksignaler och så vidare.

Vad kommer rena kristaller att betyda för datorindustrin? Ett av de största och dyraste problemen alla tillverkare och datorhallsägare brottas med i dag är kylningen. Den megawatt man

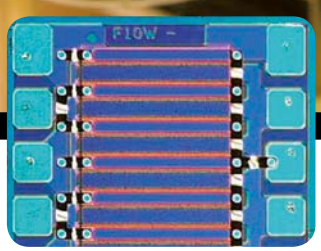
6 fördelar med kiselkarbid i elektronik

- **Inga snäva temperaturgränser.**
- Materialet leder värme lika bra som diamant – bättre finns inte.
- **Forcerad kylning behövs sannolikt inte.**
- Mycket högre genombrottsspänning än kisel.
- **Hög strömtålighet.**
- Gav oss de blå lysdioderna.

SiC-wafers hos Cree, efter svenska pionjären Acreos förebild.

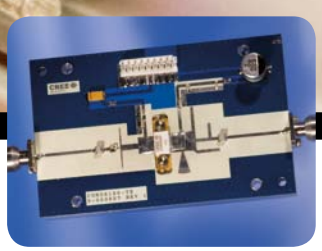


600 grader. En experimentell lysdiod i SiC som fungerar fast den glöder i 600 grader C.



SiC-chip. En effekttransistor från Cree för mikrovåg i MESFET-teknik.

Snart i din dator? Kapslade mikrovågstransistorer från Cree.



SiC-krets. En hel, färdigmonterad stripline-krets för mikrovåg från Cree.

skickar in i hallen måste kylas bort igen med vrålande fläktar och freonbaserade kylmaskiner som håller servrarnas inluft precis vid 18 grader. Det är fläktarna som gör persondatorn så störande.

Det är uppenbart att kylproblemen i moderna datorer har nått det absurdas gräns, med vattenkylning, akvariepumpar med mera. Nya material som kan arbeta vid 300 grader kommer att råda bot på detta problem.

En processor baserad på SiC måste också kylas, naturligtvis, men drifttemperaturen blir inte lika kritisk som i dag. En extern kylfläns utan fläkt kan räcka. SiC har bättre värmeledningsförmåga än koppar, så värmen som genereras hittar definitivt ut.

Fem gigahertz är bara början

Amerikanska Cree tillverkar redan SiC-transistorer, men de är inte billiga. Med en junction-temperatur på max 255 grader och drift upp till fem gigahertz är de måhända en framkomlig väg för nya, kompakta basstationer för wimax, umts och liknande gigahertztekniker.

Hård som diamant (nästan). SiC används på slitytor i bergborrar.

Ska SiC användas för processorer skvallrar fem gigahertz lite grann om de klockfrekvenser vi kan förvänta oss. När man ökar klockfrekvensen ökar alltid effektförbrukningen, vilket ökar värmen. Till sist blir det alltid värmen som vinner. Kanske inte, med kiselkarbid.

Vår bästa karbid är nu

Jämför till exempel med wolframkarbid (WC) som används i svarvstål och liknande bearbetande och skärande verktyg. Hälften wolfram och hälften kol. Det nöter man inte ner i första taget och det tål att arbeta fast det glöder.

Eftersom materialet inte är ”härdat” kan det inte heller avhärdas av höga temperaturer. WC är faktiskt så hårt att vi inte klarar att rispa en WC-bit med hårdmetallverktyg. Vi har provat.

Ännu så länge finns det inga processorer i kiselkarbid, men du kan vara övertygad om att Intel, AMD med flera funderar på saken. Det tråkiga är att det kommer att kräva helt nya tillverkningslinjer och implantatsprocesser, vilket gör att det kommer att ta ett antal år innan de första processorerna ser dagens ljus. Metoden att framställa felfria wafers är svensk, men kommersiellt används den ännu bara till krafthalvledare.

Att SiC-halvledaren har framtiden för sig är det dock ingen tvekan om. Rymdindustrin, hybridfordonsindustrin, kraftindustrin och vi kräver det.

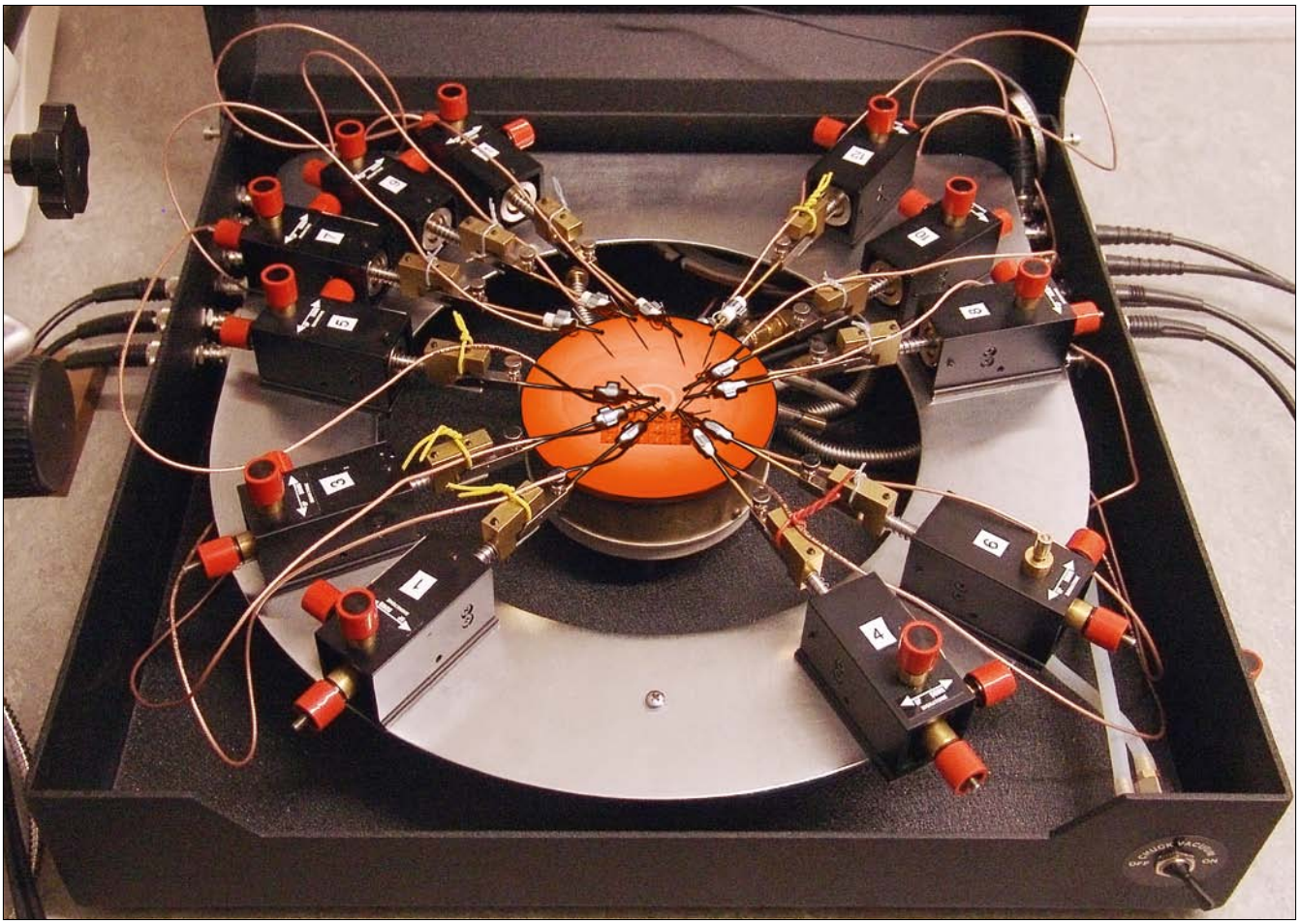
Jörgen Städje är elektronikkonstruktör, nätverksspecialist och teknikhistoriker. Han bloggar på techworld.se/jorgen och nås på jorgen.stadje@techworld.se.

Så går du vidare

» Svenska Acreo gör halvledarmaterial: **www.acreo.se**
» Svenska Transic gör krafthalvledare i SiC: **www.transic.com**
» Svenska Advanced Microwave Device Solutions (AMDS) AB har köpts upp av Intrinsic Semiconductor Corp, som har köpts upp av Cree, som tillverkar både HF-transistorer och lysdioder i SiC: **www.cree.com**

Alla länkar ovan finns klickbara på **techworld.se/lankar.**

Text och bild: Jörgen Städje



Mätningar på en operationsförstärkare i kiselkarbid i en provstation vid 600 graders temperatur. Bilden är ett montage av en synlig och en infraröd bild. Värmeplattan, i princip en spisplatta, och chippen lyser inte riktigt så här mycket vid 600 grader, utan snarare mörkt körsbärsrött.

Kretsar som tål 500 grader

När halvledare blir för varma brukar de sluta fungera, så stora kylfläktar behövs för att kyla varma komponenter. Men med nya material försvinner kylbehovet. Transistorer i kiselkarbid fungerar fast de glöder, till skillnad från de i kisel. Det kommer behövas vid KTH:s planerade färd till Venus, där är atmosfären 460 grader varm.

Rymdsatsningen vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm och Kista innefattar allt som har med rymden att göra – höghöjdsexperiment, småsatelliter, instrumentering för rymdmätningar och så paradprojektet Working on Venus, med förberedelser för en färd till planeten Venus.

Carl-Mikael Zetterling, KTH.

Denna dimhöljda planet har sina problem, bland annat en frätande atmosfär som är så varm att den smälter lödtenn och ett tryck som skulle krossa en människa. Det är ett forskningsområde som passar professorn i fasta tillståndets fysik Carl-Mikael Zetterling på KTH i Kista alldeles utmärkt.

– Jag har hållit på med elektronik i kiselkarbid i tjugo år, och vi insåg tidigt att höga temperaturer och kiselkarbid passar bra ihop, säger han.

– Transistorerna fungerar bra upp till 600 grader Celsius. Det kan vi klara, men det har varit svårt att få finansiering för integrerade kretsar för höga temperaturer. Vi råkade in i en hönan-och-ägget-situation där ingen ville ha högtemperaturelektronik för att det inte redan fanns någon och därmed inget behov.

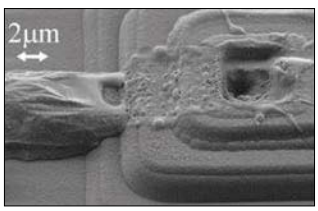
Tvärtom ses höga temperaturer i halvledare som ett fel.

Dopning? Bondning?

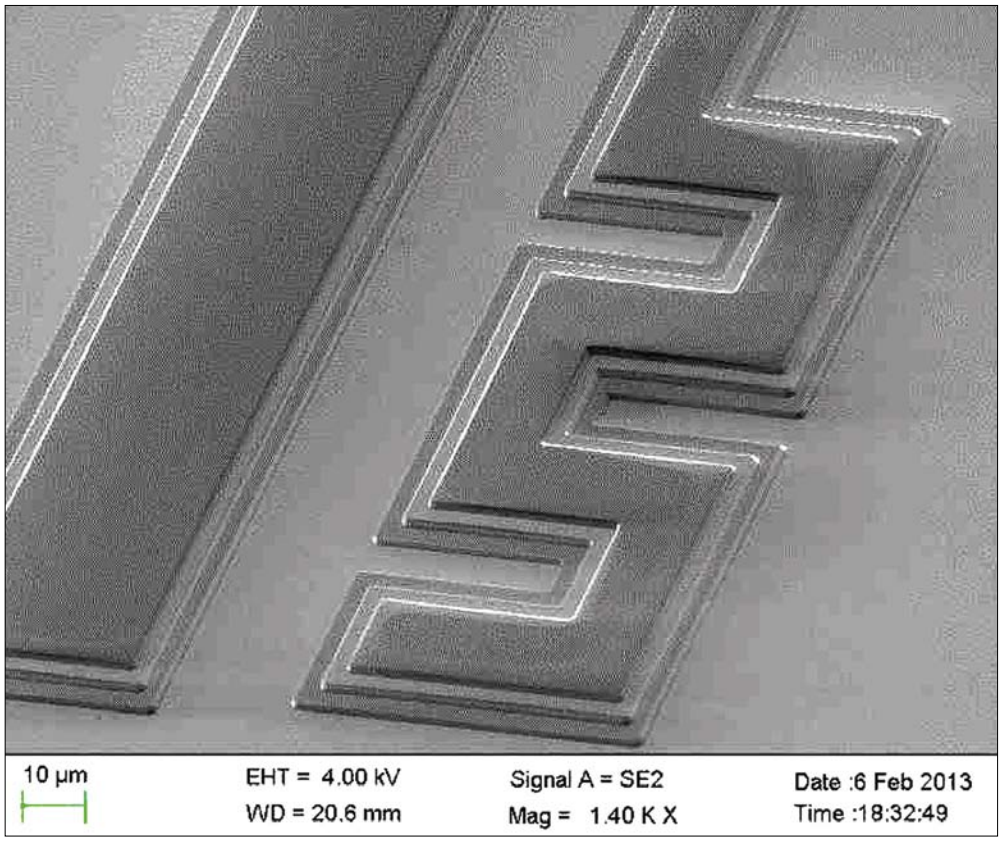
Dopning: Man skjuter in avvikande atomer i ett material, i vårt fall kiselkarbid. Kisel är normalt helt neutralt, men när man stör det med exempelvis fosfor här och där i kristallen får det ett överskott på elektroner och blir halvledande.

Bondning: Att kontaktera kiselbiten och kapslingen med så kallade bondtrådar. Man punktsvetsar på en tunn tråd på kislet, drar ut den och punktar fast den på lämplig kontaktpunkt i kapseln.

»Det kom studenter som sa ”Jag har hört att ni ska göra elektronik för Venus! Det är coolt! Eller hot!”«



Ledarmönstrets långtidsstabilitet är 15 minuter, det är ett problem vid 600 grader Celsius. Aluminiumledare tenderar att kollapsa helt när de utsätts för strömmar i storleksordningen 40 milliampere (= 10^4 ampere per kvadratmillimeter), som på den här bilden. Platina har bättre egenskaper.



Motstånd måste finnas i alla kretsar. Så här kan 47 ohm se ut, utfört i kiselkarbid. Måtten är cirka 40 gånger 120 mikrometer och tjockleken totalt 3,5 mikrometer.

Kiselkarbid har i sig självt lägre förluster än kisel, och därmed lägre självuppvärmning och borde vara fördelaktigt.

Vevade upp till 500 grader

– Vi började med att fundera på industritillämpningar, men det visade sig att det redan finns operationsförstärkare som klarar 225 grader. Så vi bestämde oss för att veva upp temperaturen till 500 grader och det fungerade bra. Tyvärr var sponsorerna ändå inte intresserade. Men när vi nämnde ordet Venus nappade de och lämnade stöd för hela Venuselektroniken. Vi fortsatte upp till 600 grader och det fungerar fortfarande bra. Bättre faktiskt. Nu har vi sett att Nasa har börjat testa kretsar vid 750 grader så vi måste trappa upp, vi också, säger Carl-Mikael Zetterling.

Ordet Venus gav också andra positiva effekter.

– Det kom studenter som sa ”Jag har hört att ni ska göra elektronik för Venus! Det är coolt! Eller hot!” och vips har vi folk engagerade som vill göra en mikrokontrollenhet, minne och en radiodel till Venuslandaren.

Venusprojektet startade i år och ska hålla på i fem år och under den tiden har KTH lovat att demonstrera alla viktiga byggblock till ett mätsystem som man skulle kunna skicka till Venus.

– Sponsorerna har inga pengar för att faktiskt skicka projektet till Venus, utan vi får testa på jorden. Senare kommer vi att få lifta med någon annan organisation som ska dit. Nasas koncept är att skicka dit ett kylskåp för ▶

Ett av världens hårdaste material

Kiselkarbid, mera känt som karborundum, är ett av de hårdaste material man känner till. Hårdheten är 9,5 på Mohs skala, där diamant är 10. Det är svårt, men inte omöjligt, att ritsa i kiselkarbid med en ritspets av hårdmetall.

Materialet används främst som slipmedel och bromsbelägg, men även i raketmotorer och skottsäkra västar. Bilden visar de båda formerna, en slipsten och en ritsad flisa av en halvledarskiva i 4H kiselkarbid, tillsammans med ritspetsen.

Materialet känns och ser ut ungefär som glas, men där tar likheterna slut. Smältpunkten är fantastiska 2 730 grader Celsius.

Molekylen består av en kiselatom omgiven av tre kolatomer. Molekylerna packar sig i kristaller, på ett av tre sätt, kallade polytyper med namnen 2H, 4H och 6H, beroende på hur kolatomerna kilar in sig mellan varandra. För halvledarbruk använder man nästan bara 4H-polytypen.

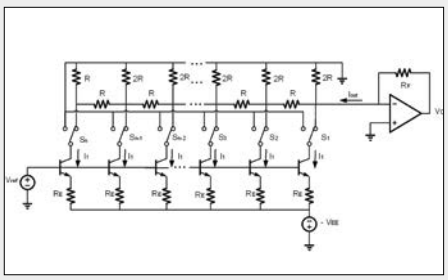
Eftersom molekylerna är så tätt packade kan bara små atomer komma i fråga som dopämnen, som kväve, fosfor, aluminium eller bor, som kan slinka in emellan kiselkarbidmolekylerna.

Materialet dopat med aluminium eller bor blir supraledande vid 1,5 Kelvin.

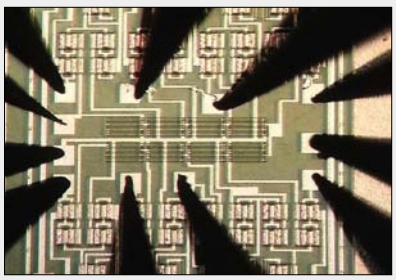
Rent kiselkarbid används även som smyckesten, för det är svårt att skilja från diamant.

Omvandlaren ska tåla 500 grader

Vid mätdatainsamling för efterföljande digital bearbetning behövs en a/d-omvandlare, och har man bara en d/a-omvandlare kan med enkelt bygga en a/d-omvandlare. KTH:s arbete har inriktats på att bygga en åttabitars d/a-omvandlare som ska fungera bra vid 500 grader Celsius.

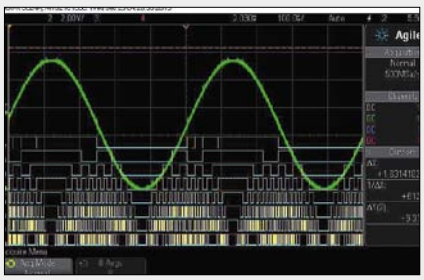


D/a-omvandlaren är av typen r-2r-resistorstege, där man skapar en utström (iout) till op-förstärkaren genom att välja in strömmar från lämpliga motstånd i en stege av motstånd, motsvarande den digitala insignalen, som representeras av switcharna s1-sn, där npn-transistorerna fungerar som konstantströmgeneratorer. Iout omvandlas av op-förstärkaren till en utspänning mellan 0,06 volt för binär 00000000 och 9,34 volt för binär 11111111.



Så här ser omvandlaren ut i ljusmikroskop, vid prov. De svarta konerna är probspetsar som pekar ned på anslutningarna.

Trådmönstret i mitten är resistorstegen, och metallmönstren kring detta är de darlington-transistorer (dubblerade) som utför de digitala kopplingarna. Transistorena ytterst utgör strömgeneratorerna. Av op-förstärkaren syns inte ett spår – den var ännu inte integrerad vid det här experimentet, utan hängde externt.



Oscilloskopbilden visar åtta bitars indata till d/a-omvandlaren i gult i de åtta nedre kanalerna och den utmatade kurvformen i grönt, överst. Vid 500 grader Celsius är omvandlaren inget fartmonster, utan håller en settling time på 6 mikrosekunder – men var så säker på att forskningen fortsätter!

Sovjet tog bilder på Venusytan

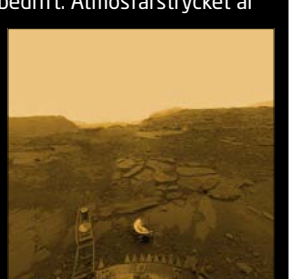
Sovjetunionen är det enda land som mjuklandat på Venus. Sonderna Venera-9-10-13-14 från år 1975-82 levde inte så länge, och bara tack vare att de redan var kalla inombords och hade tjock isolering. Farkosterna var gjorda av titan och fungerade mellan 23 och 110 minuter.

Venera 11. Landaren stod på venusytan på den bruna ringen och paraplyet var både luftbroms vid landningen (som skedde med en hastighet av 8 meter per sekund) och reflektor för spiralantennen överst. Experimenten befann sig i de röda burkarna och kameran i den koniska aluminiumburken (linsskyddet) mitt på.

De enda bilder som finns från venusytan är de som togs av Sovjet. Man var inte kapabla att behandla bilderna ordentligt på 1980-talet, men det har en Don Mitchell gjort i efterhand.

Notera att himlen närmast är orange, huvudsakligen av klor- och svavelföreningar, därför ser marken brungul ut. Min falskfärgning.

Att få hem bilderna var en teknisk bedrift. Atmosfärstrycket är 92-93 bar och atmosfären är dryga 460 grader varm och består huvudsakligen av koldioxid och kväve, med lite svavelsyra. Panoramakameran tittade ut genom väggen på en centimeter tjock kvartscylinder.



Fler av Don Mitchells återställda Venera-bilder hittar du på tinytw.se/venusbilder. Läs mer om Venera-sonderna på tinytw.se/venerasond

komponenterna, men vi tror på att arbeta direkt i utomhustemperaturen.

Forskarna har börjat med enkla byggblock och avser att nå fram till en mikroprocessor. De blir särskilt lämpade för rymd, för utöver temperaturegenskaperna är kiselkarbid väldigt strålningståligt och klarar höga genombrottsspänningar, på kilovoltnivå.

Inte perfekt ännu

Tillverkningen är inte optimerad. Kiselkarbidskivan köps färdigdopad med sex lager i omväxlande n- och p-dopning, och kvaliteten är inte helt övertygande.

– Ibland blir det bra, ibland inte. Vi etsar ut transistorer och andra komponenter genom att etsa bort de p- och n-lager vi inte behöver. Sedan lägger vi på ledarlager av aluminium. Det materialet är dock inte särskilt stabilt, och guld är inte mycket bättre. Vi lutar åt att övergå till platina, säger Carl-Mikael Zetterling.

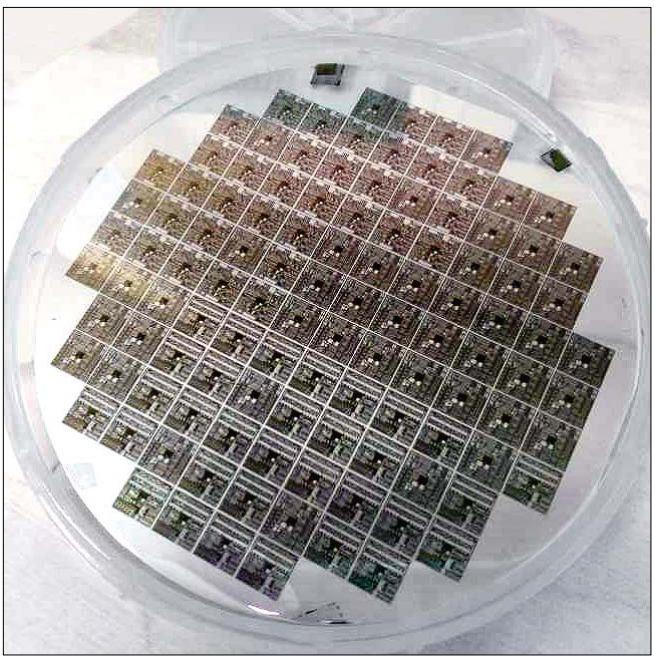
Han tror att ledarmönstren kommer att bli det stora problemet.

– Vi gör ledarmönstren med både traditionell påångning och etsning, eller så kallad lift-off. Vid traditionell förångning lägger man först på metall och därefter ett lager fotoresist och etsar sedan bort den metall man inte vill ha kvar. Vid lift-off lägger man först på fotoresist och sedan metall, varefter man lyfter bort fotoresisten och metallen på denna med aceton, det är snällt mot skivan. Då får man kvar det önskade ledarmönstret.

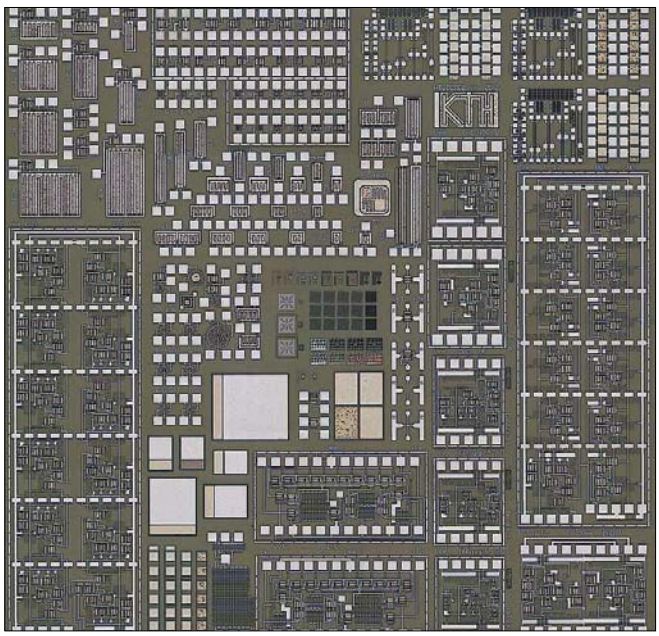
Lagren kan råka reagera

Båda metoderna har sina för- och nackdelar, till exempel finns problem med att kanterna kan etsas ut felaktigt eller att det kan bli bryggor av metall kvar. Anslutningarna till kretsen måste göras i titan-volfram, ovanpå aluminium, så det blir många metallager som kan råka reagera med varandra.

– Sedan måste vi kunna göra ”kretskort”. Ett keramiskt basmaterial i aluminiumnitrid, i storlek som en kakelplatta, med ledarmönster av platina. Aluminiumnitrid har ungefär samma



En kiselkarbid-wafer med 100 millimeters diameter. Det här exemplaret är belagt med testkretsar och testkomponenter. En tom sådan wafer kostar cirka 1 000 euro och dopningen kostar 1 000 euro till.

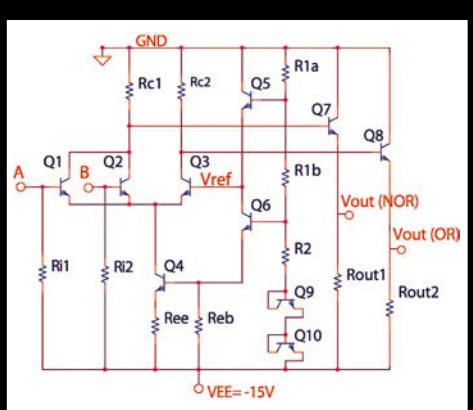


En kiselkarbidkrets med flera testkomponenter. De enkla, stora ytorna är kondensatorer på uppåt 30 pF. Det finns också lösa transistorer och induktanser, medan de fullständiga kretsarna bland annat är ringoscillatorer, op-förstärkare och logikgrindar.

Vill ha en processor – utgår från en grind

Eftersom en mikroprocessor är slutmålet för KTH:s digitala kretsutveckling måste man börja med grindfunktioner, och det blev en or-nor-grind. Eftersom kiselkarbid är som det är, fungerar ecl-logik bäst, om än något omdimensionerat från kisel, eftersom bas-emitter-spänningsfallet är 2,5 volt, jämfört med kislets 0,7.

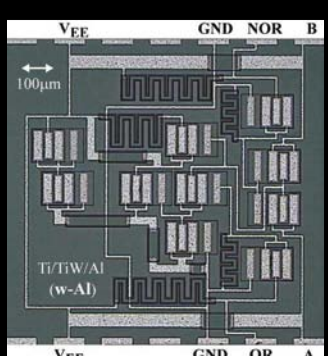
Ecl, emitter coupled logic, var den första snabba logiktypen, som bland annat användes i Cray 1-datorn. Logiken är icke-bottnad vilket, då, gav snabbare reaktionstider än bottnad ttl-logik.

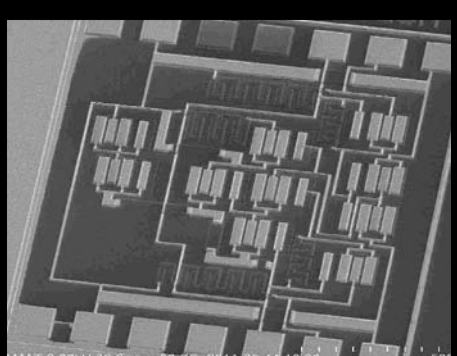


Schemat för or-nor-grinden. Notera att vi talar negativ logik där alla logiknivåer rör sig under noll volt.

Logiknivåerna svingar mellan -3,2 volt för en etta och -5,1 volt för en nolla vid rumstemperatur, respektive -2,8 och -4,8 vid 200 grader Celsius. Matningsspänningen Vee är -15 volt.

Kretsarna är ännu inga fartmonster. De går i ett par megahertz, med stigtider på ~400 ns.





I verkligheten ser grindkretsen ut så här. Till vänster ser du en ljusmikroskopbild av kretsen med anslutningarna uppmärkta, där A och B är ingångar och or och nor är rak respektive inverterad utgång.

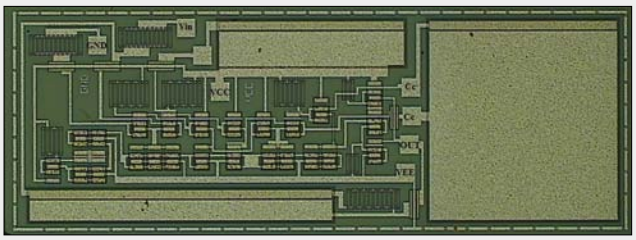
Bilden till höger är från ett elektronmikroskop, där du ser kretsens topografi bättre. De vertikala grupperna om fyra metallrektanglar är 10 stycken npn-transistorer, medan "ormarna" är motstånd.

1 gånger 1,1 mm kan verka ganska stort för en så enkel funktion, men räkna med att KTH driver miniatyriseringsarbetet framåt. Annars blir det inga mikroprocessorer. Du kanske fnissar åt en enkel två-ingångars grind, men betänk att datorn i den första Apollo-kapseln var uppbyggd med den mest tillförlitliga ttl-krets som fanns då, SN 7400, innehållande fyra nand-grindar.

Världens första op-förstärkare i kiselkarbid

Doktoranden Raheleh Hedayati arbetar vid probstationen (stora bilden på artikelns första sida) med att mäta upp parametrarna för sin op-förstärkare, faktiskt den första i kiselkarbid med bipolära transistorer i världen.

Elektroderna som ansluter till kiselkarbidkretsen på värmeplattan måste justeras under mikroskop för att göra bra kontakt. Sedan svänger doktoranden undan mikroskopet, för annars smälter det.



Här ser du en ljusmikroskopbild av en op-förstärkare i kiselkarbid med fast förstärkning. De stora tomma metalliserade områdena är kondensatorer på upp till 30 pF, grupperna om fyra parallella metallytor är npn-transistorer och de tunna, slingriga sakerna är motstånd. Den stora kompensationskondensatorn i kretsen är för tillfället extern, men doktoranden Raheleh Hedayati kommer att kunna göra ännu bättre simulationer i framtiden för att eliminera den stora kondensatorn. Nästa projekt kommer att bli en a/d-omvandlare med successiv approximation, där den befintliga d/a-omvandlaren kommer att bli ett byggblock. Dessutom behövs en bra op-förstärkare.

Här är en oscilloskopbild som visar data från mätningen. Op-förstärkaren fungerar lika bra i rumstemperatur som här, vid 500 grader. En sinusvåg på 40 kilohertz med en amplitud på 27 millivolt matas in och kommer som sig bör ut inverterad, med en amplitud på 2,45 volt. Förstärkningen ligger fast på cirka 90 gånger genom återkoppling och är i stort sett konstant över hela temperaturområdet.

Doktoranden Gina Lanni visar renrummet. Här håller hon en kassett med kiselkarbid-wafers som ska bli till integrerade kretsar.

temperaturutvidgning som kiselkarbid.

Kretsarna kan fästas mot substratet genom omsmältning med så kallat nanosilver. Därefter måste de bondas mot ledarmönstret på substratet. Bondning med guldtråd tenderar att bli instabil vid 600 grader, och platina är inte mycket bättre. De kan också skaka sönder av de våldsamma vibrationerna när raketen startar.

Kanske keramisk kapsel

Ett alternativ är så kallad flip-chip, när man lägger chippen upp och ned på substratet, med komponenterna nedåt, och smälter fast kontaktpunkterna direkt mot substratet. Det eliminerar både bondtrådar och behovet av kapsling.

– Vi har ännu inte löst problemet med hur kretsarna ska förpackas, men en keramisk kapsel av den typ som användes i integrerad krets-teknikens barndom torde klara temperaturen, säger Carl-Mikael Zetterling.

Ännu olösta problem

Sedan återstår komponenter som stora kondensatorer och induktanser för spänningsomvandlare. De problemen är ännu olösta, även om okapslade glimmerkondensatorer förmodligen tål temperaturen, liksom luftlindade spolar i platina.

Men hur är det med strömförsörjning på Venus?

– Man kan tänka sig bränsle-

»Det finns förmodligen inga venusianer som kan bli bestrålade, och kiselkarbid har inga invändningar mot strålning.«

Tillverkningen av kiselkarbid sker i ett flertal steg, i olika kammare, etsare, ugnar och reaktorer. Från tom wafer till färdig krets tar det cirka en månad. Ledarmönstret skapas i en sputterkammare som den här, där man kan lägga på aluminium, nickel eller platina efter behov i skikt i nanometerklassen.

celler, för de fungerar bra vid höga temperaturer. Eller en radioaktiv spänningskälla. Det finns förmodligen inga venusianer som kan bli bestrålade, och kiselkarbid har inga invändningar mot strålning.

En nyttig spin-off

Så det var när finansiärerna fick höra ordet Venus som de beviljade medel. Det låter ju hoppingivande, men vad kan industrin i övrigt ha för nytta av högtemperaturelektroniken?

– Sensorer i borrhuvudet vid olje- och gasborrning ska klara mycket höga temperaturer, liksom sensorer inuti gasturbiner i generatorer och flygmotorer. Det är besvärligt att föra ut svaga signaler ur dessa miljöer, så kunde man mäta upp värdena, a/d-omvandla, signalbehandla och omvandla till en digital dataström på radio med en krets som kan sitta direkt i 400–500 grader, vore väldigt mycket vunnet över dagens teknik. Vi ser det som en nyttig spin-off, säger Carl-Mikael Zetterling.

Notera: Vi har även diskuterat problematiken med att bygga en fungerande Venuslandare med professor Zetterling och andra. Vi återkommer till det i en framtida artikel – håll utkik! ■

Mer på nätet

KTH:s projekt:
▶ **www.hotsic.se** och
▶ **www.workingonvenus.se**
Nasas kiselkarbidsida:
▶ **tinytw.se/sic**
Nasas studie för flaggskeppsresor:
▶ **vfm.jpl.nasa.gov**
Om flaggskeppet till Venus (pdf):
▶ **tinytw.se/flaggvenus**
Om problemen med kapsling:
▶ **tinytw.se/kapsling**
Bra artikel om Venus på Wiredcosmos:
▶ **tinytw.se/venuswired**

Jörgen Städje

Frilansskribent och teknisk översättare som arbetat för IDG sedan 1989. Han har tidigare arbetat som elektronikkonstruktör, emc/emi-expert, servicetekniker på ocr-utrustning, teknisk dokumentatör och fotograf.

▶ jorgen.stadje@techworld.se

Text: Jörgen Städje

Fuglesang visar vägen

Det finns många rymdforskningsprojekt på Kungliga Tekniska Högskolan. Hittills har institutionerna forskat var för sig, men nu ska allt hållas samman i en organisation. Den leds av en mycket lämplig person: Christer Fuglesang.

Professor Christer Fuglesang. Bild: Audrone Vodzinskaite

Om du trodde att Christer Fuglesang bara var en tyngdlös kille som hoppade runt i rymden, har du fel. Han är visserligen anställd som astronaut av ESA, European Space Agency, men han har fått ett förordnande som adjungerad professor på KTH. Hans huvudsakliga forskningsämne är partikelfysik och det har han utvecklat på CERN, där han blivit Senior Fellow.

Vi träffar Christer Fuglesang på KTH där han numera är föreståndare för KTH Rymdcenter.

– Det förekommer mycket rymdrelaterad verksamhet på olika institutioner på KTH som behöver stärkas och samordnas. Det finns en potential på KTH som inte har utnyttjats, men genom samordning kan man skapa synergier, och genom att synliggöra att detta utförs på KTH stärker man högskolans varumärke och kan attrahera mera rymdforskning till skolan. Men mycket är i en uppbyggnadsfas, och fanns inte ens för ett år sedan, säger Christer Fuglesang.

Experimentell rymdverksamhet har funnits på KTH sedan 1960-talet, inspirerad av bland andra nobelpristagaren Hannes Alfvéns forskning.

Verksamheten sysselsätter för närvarande cirka 50 forskare inom astrofysik, rymd- och plasmafysik, jordobservation, satellitnavigering, fysiologi, teknik utveckling och utbildning.

– Rymd stimulerar allmänhetens och särskilt ungdomars intresse för vetenskap och teknik. Vi har funderingar på att låta studenter bygga satelliter tillsammans. Det är helt nytt i Sverige, säger Christer Fuglesang.

En mängd projekt

Här är några exempel på projekt som kommer att rymmas inom KTH Rymdcenter.

Seam: Forskningssatelliten Small Explorer for Advanced Missions utvecklas på Alfvénlaboratoriet. Den ska skjutas upp 2016 och mäta magnetfältet i rymden kring jorden, i syfte att försöka förstå rymdväder bättre. Både instrumentering och annan maskinvara utvecklas på KTH.

Sphinx: Segmented Polarimeter for High Energy X-rays är ett projekt med tre småsatelliter som ska mäta hur strålningen från en gammablixt från rymden är polariserad.

Gammablixtar kommer till oss från hela universum och är mycket kraftfulla. Deras ursprung är inte helt klarlagt, men man tror att de uppstår när en stjärna kollapsar och blir till ett svart hål. Sphinx blir ett samarbete mellan fysikinstitutionen och andra grupper på KTH.

Work on Venus: Elektronik på kiselkarbid i stället för kisel lovar att klara mycket höga temperaturer, omkring 500 grader. Det kommer att behövas den dag man försöker landa på Venus (igen). Arbetet ska börja med att ta fram och visa på teknik som ska kunna fungera på Venus.

Ny användning för Eiscat: De stora antennmatriserna i Tromsö och på Svalbard kan användas till annat än att hetta upp jonosfären med sina 10 megawatt. Inom projektet Eiscat 3D vill Alfvénlaboratoriet använda dem som radar och spåra satelliter och rymdskrot och registrera omloppsbanorna.

Rexus och Bexus: Inom ramen för projektet Rocket and Balloon Experiments for University Students får studenter föreslå och utföra experiment som ska skickas upp med raketer och ballonger.

I ett samarbete med ESA har studenter gjort en del lyckade experiment, bland annat rörande kosmisk strålning. Varje år skickas två ballonger och två raketer upp från Esrange, som kan innehålla fler än 20 experiment vardera, helt konstruerade av studenter.

Så sent som den 9 maj 2013 flög man vädermätprojektet Muscat, Multiple Spheres for Characterisation of Atmospheric Temperature, i en raket från Esrange för att mäta temperatur och vindar på 90 kilometers höjd.

Forskning är inte gratis

Grundforskning kostar en del pengar, som man måste få någonstans ifrån. I Sverige är det statliga verket Vinnova som erbjuder forskningsanslag, men de stora pengarna kan man få av EU:s olika fonder.

Horizon 2020 är EU:s sjuåriga ramverk för europeisk forskning, där ett av områdena är just rymd. KTH Rymdcenter ska agera som påverkansplattform för att få forskningspengar till Sverige inom detta ramverk. Eftersom ansökan i maj 2013 gav bra resultat bestämde man sig för att försöka med en större satsning.

– Vi vill ha tillräcklig trovärdighet och kunna formulera en ansökan så att den passar svenska intressen, säger Christer Fuglesang. ■

KTH-studenter i Rexus-projektet på Esrange. Bild: KTH

Mer på nätet

Om KTH Rymdcenter:
▶ **tinytw.se/rymdkth**
Alfvénlaboratoriet:
▶ **www.alfvenlab.kth.se**
Rexus och Bexus:
▶ **www.rexusbexus.net**
Muscat:
▶ **muscatexperiment.se**

Jörgen Städje
▶ jorgen.stadje@techworld.se

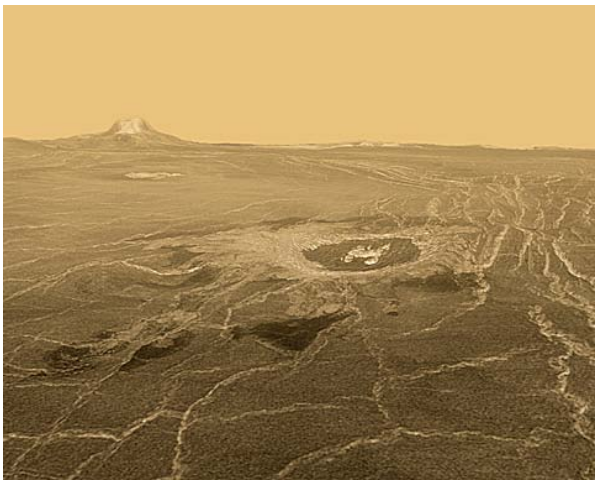
DEL 1

MOT VENUS!

SPACESHIP ON A CHIP

Svenska forskare vill försöka landa en farkost på den ogästvänliga planeten Venus. Det gäller att designa den stryktålig, temperaturtålig och inte särskilt dyr. Vi har tittat på hur det skulle kunna göras.

I den här första delen i artikelserien ”Spaceship on a chip” kommer vi gå igenom avsiktsförklaringar, budget och mekanismer för landning.

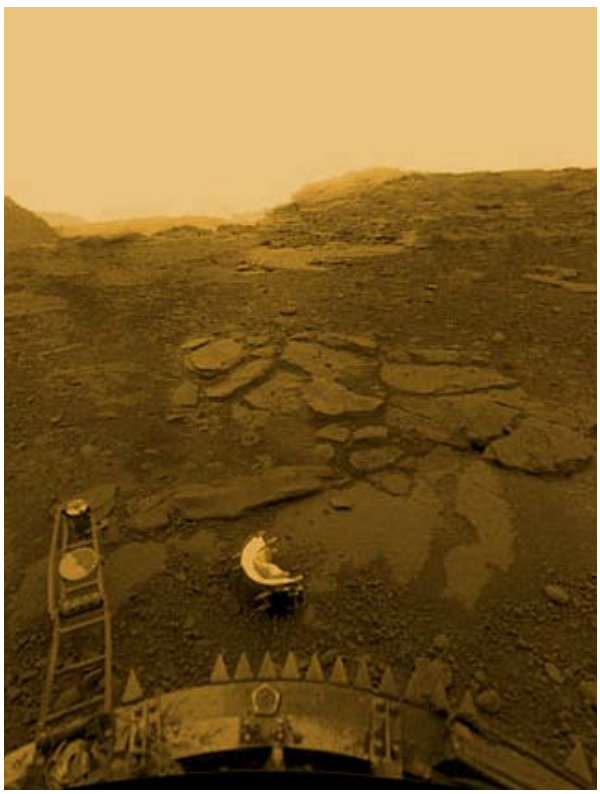


Så här ser det ut på Venus. Kanske. Det är en tänkt vy av venusytan, sammansatt av en radarbild tagen av Nasa:s Magellan-sond 1989 och med himmelsfärger enligt Don Mitchells bedömning, samt en del svavelosande himmelsdis. Fotomontage av undertecknad.

Låt oss börja med att konstatera att mänskligheten redan mjuklandat ett par farkoster på venusytan och släppt lös en ballong i atmosfären. De sovjetiska landarna Venera 9 till 14 landade mellan åren 1972 och 1983 och tog utmärkta bilder, om än bara ett par stycken, innan de svettades ihjäl och dog.

Venera-sonderna var beroende av sin servicemodul, som de släppte innan de landade på Venus, för sin kommunikation med jorden. All kommunikation var i realtid. När servicemodulen hade passerat Venus efter en timme, var förbindelsen för alltid bruten. Ballongerna Vega levde i 46 timmar och reste nästan en tredjedel av Venus omkrets i 240 kilometer i timmas vindstyrka på 53 kilometers höjd. Ballongerna sände direkt till Jorden, om än i ynkliga 4 bit per sekund.

”Venera-sonderna var beroende av sin servicemodul, som de släppte innan de landade på Venus, för sin kommunikation med jorden.”

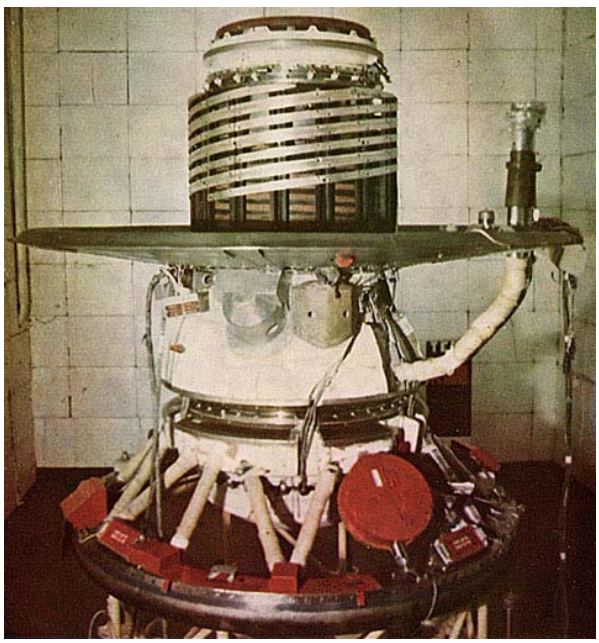


Den ena av de enda två bilder av venusytan som någonsin framställts korrekt, i form av ett återvrängt panorama från Venera 13. Bild: Roscosmos och Don Mitchell. Falskfärgad av mig enligt Mitchells intentioner.

Venera var ett tekniskt mirakel för sin tid. Den hade en ovanligt omfattande instrumentpark och något i stil med detta torde vara ett minimikrav om man ska konstruera en modern landare:

- nefelometer (mäter ljusspridning i ett material, i detta fall atmosfären)
- masspektrometer (mäter förekomsten av olika grundämnen)
- gaskromatograf (mäter atmosfärens sammansättning)
- röntgenfluorospektrometer (mäter förekomsten av olika grundämnen)
- fotometer och spektrometer (mäter ljusnivå och ljusfärg)
- mikrofon (lyssnar)
- anemometer (mäter vindstyrka)
- lågfrekvensradio (rwi, radio wave investigation, lyssnar efter blixtar)
- termometer
- barometer
- accelerometer (mäter venusbävningar)
- penetrometer (bearbetar venusytan tillsammans med jordanalysenheten)
- kameror (tar färgbilder).

Detta är ett mycket högt mål att leva upp till.



Venera 11 under färdigställande. De markkännande instrumenten befann sig inuti de röda burkarna och paraplyet upptill var både reflektor för spiralantennen som sände rätt upp, och luftbroms. Bild: Roscosmos.

Men visst kan man förbättra resultaten. Veneras kameror var till exempel bara 252 pixel i vertikalled och färgkvaliteten var inget vidare. Venera-landaren hade heller inga strålningssensorer. Och som sagt, en livslängd på mer än en halvtimme skulle vara behjälpligt.

Venus, det andra klotet från solen. Bild: Nasa.

VAD ÄR AVSIKTEN?

För en annan artikel i TechWorld diskuterade undertecknad med professor Carl-Mikael Zetterling på KTH om hur man skulle kunna bygga en landare för en framtida venusfärd med de medel som står KTH till buds, som en del av KTH:s projekt Working on Venus, som i sin tur är en del av satsningen på KTH Rymdcenter.

Zetterlings grupp har inte funderat så mycket på hur en venusfarkost skulle kunna byggas upp, utan har ägnat den mesta tiden åt att lösa problemet med högtemperaturelektronik, alltså hur man ska få mikrodatorer, ccd-arrayer och kraftelektronik att fungera tillfredsställande trots att de glöder rött i Venus 460-gradiga atmosfär.

Kiselkarbidgruppen (SiC) verkar vara en del av lösningen i och med att man har både op-förstärkare, logikkretsar och a/d-omvandlare färdiga som klarar dessa temperaturer, och mer ändå. 600 grader är ingen omöjlighet för halvledaren kiselkarbid.

Sovjeterna kylde det inre av sina välisolerade landare till -10 grader Celsius före landningen för att ha en köldreserv, men det behövs inte med högtemperaturelektronik. Något tryckskydd blir inte heller nödvändigt (Se ”Landaren i sammanfattning” nedan).

Venusatmosfären i ett nötskal, eller snarare i ett plåtskal. Att skydda sig mot detta blir svårt i längden, det är enklare att låta det slippa in.

Eftersom inte mycket arbete lagts ned på det praktiska utförande av en venuslandare grep sig Safa Night Hacking Team (SNHT) an saken, en grupp elektroentusiaster med undertecknad i spetsen. Följande text är en sammanfattning av våra funderingar. Mycket av det som framkommit är baserat på kunskaper om tidigare venusfärder, färder i djuprymd och de metoder som Nasa använt för att klara motsvarande problem på planeten Mars.

DETTA ÄR GRUNDFÖRUTSÄTTNINGARNA

Exakt hur landaren ska komma i omloppsbana kring Venus är inte känt, och att ta reda på det är inte heller avsikten med den här studien. Vi förutsätter att KTH får följa med någon farkost som ändå ska dit, som extra nyttolast.

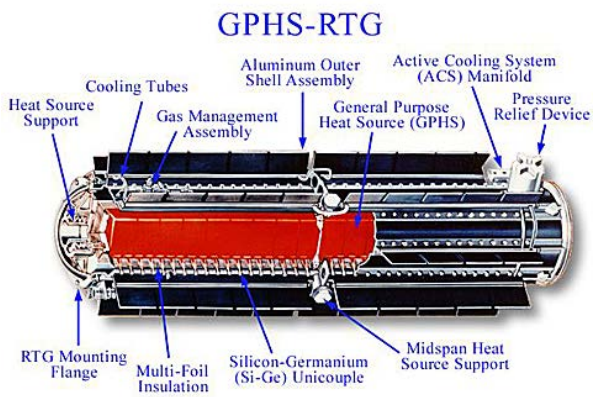
Landaren ska inte kommunicera direkt med jorden via radio utan kommer att behöva en kommunikationssatellit i polär bana kring planeten, som relästation. En

sådan kommunikationssatellit är heller ingen nyhet, ett antal har redan byggts. Det är precis så som marsbilarna Spirit, Opportunity och Curiosity kommunicerar med jorden från Mars.

I och med det här kan man hålla energibudgeten i landaren nere och kommunicera på måttliga frekvenser, med lättbyggd radioelektronik och små antenner. Vårt förslag är att använda frekvenser kring 200 megahertz på en vanlig, rundstrålande sprötantenn. En sändareffekt på 0,1–0,5 watt kan vara tillräcklig.

EFFEKTBUDGET SPIKAD

Man har både en viktbudget och en energibudget att ta hänsyn till.



Radioaktiv isotopgenerator. Bild: Nasa.

Hela landarens effektförbrukning kan med lite tricksande hållas under 10 watt. Man kan för närvarande få ut 3 watt per kilo ur en radioaktiv isotopgenerator (rtg), och om man antar en förbrukning på 10 watt behövs en rtg på 3,5 kilo. Den massan behövs dessutom för stabiliteten under landningen.

Isotopgeneratorn använder en plutoniumklump som varma änden i en anordning med termoelement som strömalstrare, och kalla änden är rtg:ns yta med kylflänsar. Det kommer inte att bli några som helst problem med kylningen av den kalla änden av rtg:n. Den täta venusatmosfären är nästan lika effektiv som vattenkylning.

Det är önskvärt att landaren har en livslängd överstigande 243 jorddygn, alltså ett venusdygn. Men vill kunna observera hela dygnscykeln och kunna mäta ljus och mörker, ta emot bruspulser från blixtar mm. Nasa menar att en typisk rtg bör kunna fungera 2 jordår på en planetyta, vilket räcker mer än väl för de åsyftade 243 jorddagarna, plus 10–12 års hylliv, vilket överskrider tiden för överfarten.

SNHT funderade på användning av en bränslecell i stället för rtg, och även om temperaturen är den rätta på Venus, skulle mängden bränsle man var tvungen att ta med sig, göra idén omöjlig.

Eftersom det inte är säkert att landaren kommer att hamna upprättstående på venusytan, bör man medföra flera likadana landare. De bör skjutas ut så att de landar på olika ställen på planeten, nord som syd som ekvator och i hög- och låglänt terräng, för att man dels ska få redundans och dels en överblick av alla terrängtyper.

DAGS FÖR LANDNING

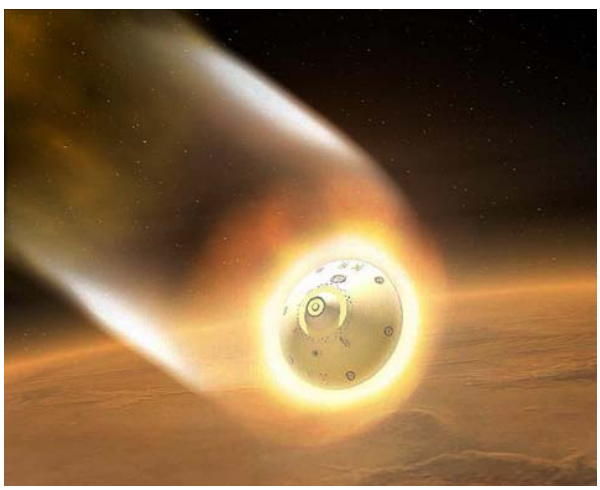
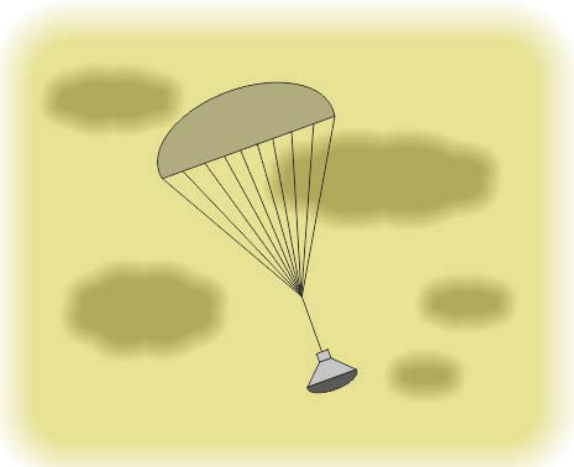


Bild: Nasa.

Landaren, eller landarna, släpps loss från moderfarkosten och ges en lämplig inträdesvinkel så att de inte störtar ned för våldsamt och inte studsar av atmosfären (men det där har Nasa redan koll på) och när atmosfären börjat tätna tillräckligt börjar landarens ablativa termosköld bromsa in den. Ablativ betyder att skölden nöts bort av atmosfären.

Ett exempel på en landare med ablativ värmesköld (svart) och övre skyddsköld (vit). Modulen ligger upp och ned. Bild: Nasa.

De värmeskyddande plattorna på Nasas rymdskyttlar var gjorda av ett material kallat LI-900 och var ovanligt effektiva. Värmer man ena sidan av en sådan platta till 1 000 grader blir den knappt ljummen på andra sidan. LI-900 består av 94 procent luft och 6 procent fluffiga silikatglasfibrer och väger därför bara 144,2 kilo per kubikmeter. Den ablativa värmeskölden till venuslandaren bör därför framställas av LI-900.



När farten kommit ned tillräckligt spränger man ut en fallskärm, som håller ända tills atmosfären börjat bli för varm så att skärmen hotar att brinna upp, vilket tycks inträffa på 50 kilometers höjd. Då släpper man fallskärmen och faller fritt.

När landningsradarn avgör att höjden är lämplig spränger man de tre sprängbultar som håller den övre skyddsskölden och denna faller bort. Landaren ser då ut som en skål som faller nedåt. Stabiliteten ska dels uppnås genom att lasten fördelas jämnt i skålen, dels genom att isotopgeneratorn är tung och placeras så att tyngdpunkten blir låg.

När landaren till sist slår i marken kommer det som är kvar av värmeskölden att fungera som stötdämpare och innesluta eventuella vassa stenar som står upp.

Landningen bör inte bli särskilt hård, eftersom atmosfären vid 92 bars tryck torde vara som att vada i gelé. Venera föll fritt från 50 kilometers höjd och slog i ytan med bara 8 meter per sekund. Den enda bromsen var ett paraply i metall på 1,5 meter (för en farkost på cirka 660 kilo), som samtidigt fungerade som reflektor för antennen.

DEL 2

LANDNING PÅ VENUS

SPACESHIP ON A CHIP

Hur bygger man en farkost som är tillräckligt stryktålig för att landa på Venus? Och vilka instrument borde finnas ombord? TechWorld satte en grupp experter på att försöka besvara de frågorna.

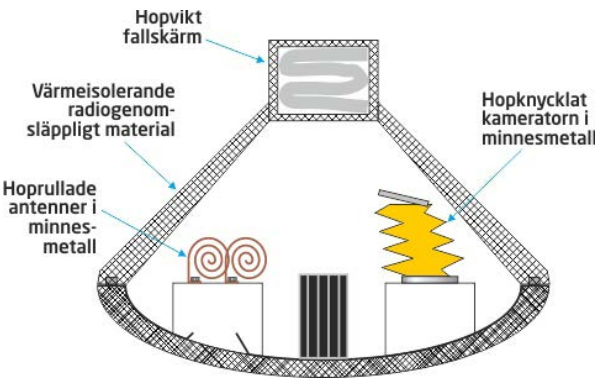
TECHWORLD SPEKULERAR:

Den här artikelserien bygger på entusiastgruppen SNHT:s gissningar om hur "kretskortet" kan byggas. SNHT står för Safa Night Hacking Team (och Safa står för Svenska arbetsgruppen för algoritmforskning).

SNHT består av:

- **Thord Nilson:** Elektronikkonstruktör med switchelektronik som specialitet.
- **Per Lindberg:** Databasguru och framåtblickare.
- **Thomas Nyström:** Elektronikkonstruktör med mobiltelefoni som specialitet.
- **Jörgen Städje:** Allmän tekniktok.

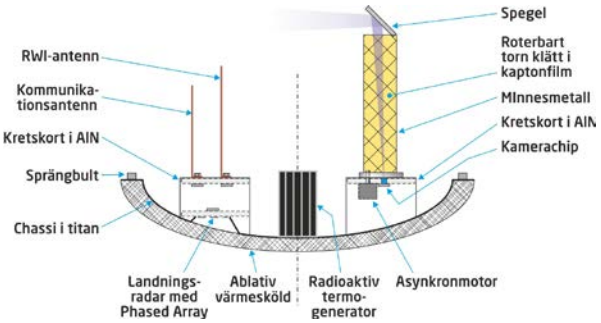
LANDAREN I SAMMANFATTNING



När landaren släpps loss från moderfarkosten är alla strukturer inuti den hopknycklad minnesmetall, en typ av metallegering som kan "minnas" den form den hade vid tillverkningen. Man kan sedan knyckla till den, men den återfår sin forna form vid uppvärmning.

Den roterade spegeln för panoramakameran monteras i toppen på ett torn av minnesmetall, som vecklar ut sig till ett fackverkstorn efter ett tiotal timmar i Venus marktemperatur. Tornet kommer också att fungera som dammskydd för kameran. Fallskärmen ligger i ett temperaturskyddat utrymme överst. Den övre skyddskonen ska vara i ett värmetåligt men radiogenomsläppligt material, så att landaren kan kommunicera med moderfarkosten under nedfärden.

All intelligens för nedfärd, landning och drift på planetytan sitter i elektroniken i markmodulen, även den som sköter fallskärmen och sprängbultarna. När bultarna lossas kommer man inte att förlora någon funktionalitet alls.



Markmodulen består i huvudsak av en skål i titan, 1–2 meter i diameter, som är klädd undertill med materialet LI-900.

Det finns ett hål i titanskålen, där landningsradarn tittar ned. För denna kan man antingen bygga en enkel array av fasta dipoler som bara strålar rakt ned, eller tänka sig en phased array-konstruktion som kan svepa runt horisonten.

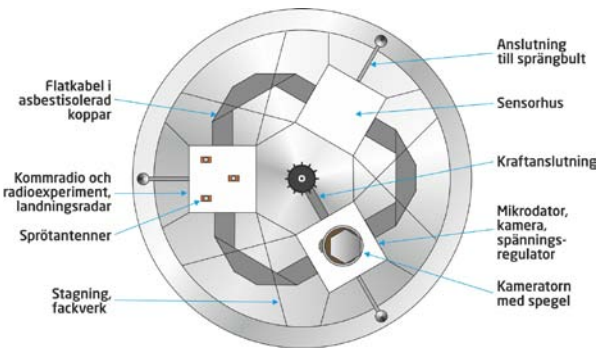
Ett antal timmar efter landningen har minnesmetallen i antenner och torn rätat ut sig och antennerna får full verkningsgrad. Spegeln höjs till 45 graders vinkel av sin hållare i minnesmetall. Titanskålen fungerar som reflektor för radioantennerna.

BEHÖVER INTE TÄTAS

Elektronikmodulerna består också av titan som svetsats mot skålen. Kretskorten bultas fast mot modulens tak med bultar med fjäderbrickor. För att öka stabiliteten och vibrationståligheten står ett fackverk av tunna titanplåtar mellan modulerna och skålens kant (se bilden nedan).

Modulerna behöver ingalunda vara täta, utan atmosfärstrycket kan slippa in. Atmosfärens koldioxid skadar inte elektroniken. Det gör däremot det lilla innehållet av svavelsyra. Låter man atmosfären pysa in genom ett litet hål fyllt med kalk kan svavelsyran absorberas och neutraliseras.

Den tunga delen är isotopgeneratorn (rtg), som lämpligen monteras i mitten av skålen så dess tyngdpunkt kommer lågt.



Uppifrån syns ytterligare detaljer. För att få jämvikt kan elektroniken delas i tre moduler: Mikrodator- och kameramodul, radiomodul och sensormodul.

Flatkabeln går i ring runt de tre modulerna, vilket ger redundans. En ledare kan gå av någonstans utan att det påverkar funktionen.

DATAÖVERFÖRING TILL JORDEN

Vanliga sprötantenner räcker gott och väl för kommunikation med en satellit, det har bevisats på Mars. Liknande antenner kan användas för rwi, radio wave investigation, när man vill höra åskurladdningar i molnen.

Man kan också tänka sig en lågfrekvensantenn i form av en luftlindad mångvarvig spole av asbestlaminerad litztråd punktsvetsad mot radiokortet.

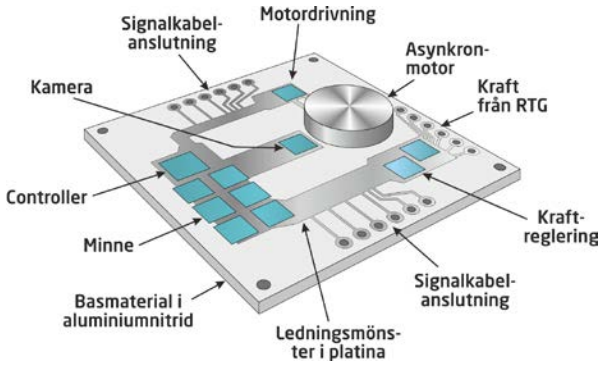
SNHT hade tidiga funderingar på att eventuellt förse en kretskortet i radiomodulen med en mängd dipoler och montera sändarmoduler på andra sidan plattan och på så sätt skapa en fasad antennmatta och åstadkomma en elektroniskt styrbar antenn. Vid närmare eftertanke visade sig verkningsgraden på en sådan anordning vara för låg för att motivera konstruktionsjobbet. En helt vanlig rundstrålande kvartsvågspinne har bättre verkningsgrad och är betydligt enklare att konstruera.

EN HALV WATT KRÄVS

Antennerna görs av minnesmetall som förvaras hoprullade och vecklar ut sig efter att par timmar i venusvärmen. Antennen skruvas fast i kretskortet med skruv, mutter och fjäderbricka. Brickan är avsedd att ta upp vibrationer och skruvens förlängning i den höga temperaturen. De uteffekter som krävs kan man lära sig från marsbilsprojekten. Mer än en halv watt ska inte behövas.

Det finns ingen anledning att göra större åthävor än nödvändigt och gå upp i sändarfrekvenser över 200 megahertz. Återigen kan man dra lärdom av marsbilarna, som håller sig inom det frekvensområdet. Det är lätt att bygga sändare vid denna frekvens och ett par centimeter matarledare betyder inget för prestanda.

SPACESHIP ON A CHIP



"Kretskort" för venuslandaren.

”Det finns ingen anledning att göra större åthävor än nödvändigt och gå upp i sändarfrekvenser över 200 megahertz.”

Kretskortet är framställt av aluminiumnitrid (AlN), en keram som har samma värmeutvidgningskoefficient som kiselkarbid (SiC). Avsedd storlek är ungefär som en kakelplatta.

De gröna fyrkanterna på skissen är SiC-kretsarna, monterade ”flip-chip”, alltså med ledningsmönster och anslutningar nedåt, och mer eller mindre hårdlödda mot ledningsnätet av platina. Det är den enda metall som inte veknar i 460 grader och med hög ström pålagd.

För att i mesta möjliga mån eliminera kablage och tillhörande felkällor bör all logik läggas på ett enda moderkort. Det är detta som vi kallar ”Spaceship on a chip”!

STÄNDIG SPÄNNING

Flatkablarna som kommer utifrån ansluts med skruvterminaler eller punktsvetsas på kretskortets sidor.

Utspänningen från rtg:n varierar med tiden och omgivningstemperaturen (rumstemperatur, rymden, Venus), så man måste kunna koppla om sektioner av termoelement för att ständigt hålla avsedd spänning. Det sköts av kraftreglerelektronik.

Kontrollenheten (controller) behöver många anslutningar mot minneskretsarna, därav det omfattande ledningsnätet.

LÄTT ATT SERIEBYGGA

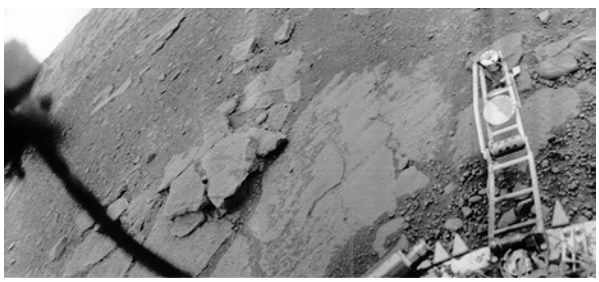
Signalkablaget innefattar både en databuss, à la can-buss och matningsspänningar till de två andra instrumentmodulerna: radiomodulen och sensormodulen.

Att framställa elektroniken på kretskort har den fördelen att det är lätt att seriebygga flera likadana enheter för testning. Ledarmönstret konstrueras med vanlig kretskorts-cad och framställs med platinapasta som screentrycks på aluminiumnitriden och sedan smälts fast.

SiC-kretsarna kan också enkelt massframställas, placeras upp-och-ned på kretskortet och hårdlödas fast, varefter allting kan provas med kända metoder.

KAMEROR

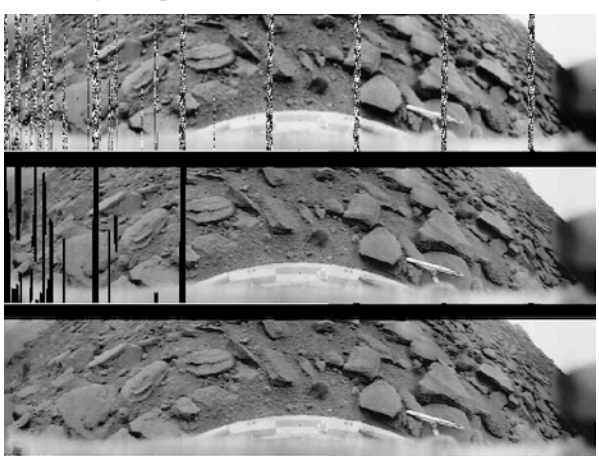
Det är lämpligt att följa i Sovjets spår och göra panoraman av venusytan, men det bör göras i flera våglängdsområden än vad som gjorts hittills. SNHT tänker sig åtminstone tre kameror.



En del av ett venuspanorama. Armen som sticker ut är ett markanalysinstrument. Stenen till vänster är en sten.

Man bör inte lägga ned arbete på att tillverka tvådimensionella ccd-arrayer i SiC, när det räcker med en dimension. En linjesensor är fullt tillräcklig om man ändå ska ha en vridande spegel och skapa panoraman. Det blir betydligt enklare att få bilder med 1 000 pixlars vertikal upplösning genom att svepa en 1 000 pixlars linjesensor horisonten runt, än att försöka bygga en 1 000 gånger 1 000 pixel-array.

Mitt på kretskortet sitter kamerakretsen med sina tre linjära ccd-arrayer. Den tittar nedåt (uppåt efter montage) genom ett hål i kortet, som är fyllt av en propp av Pyrexglas som agerar objektiv. Pyrex är ugnsfast glas och tillräckligt temperaturstabilt för Venus.



Stenigt panorama från Venera 9. Brusstrecken i översta bilden är egentligen telemetridata som sänts tillsammans med bilden. Det kan trollas bort, som på nedre bilden.

En kamera ska lämpligen vara känslig i synligt ljus, med rgb-filter, för att efterlikna det mänskliga ögat och ge en bild som vi kan förstå intuitivt.

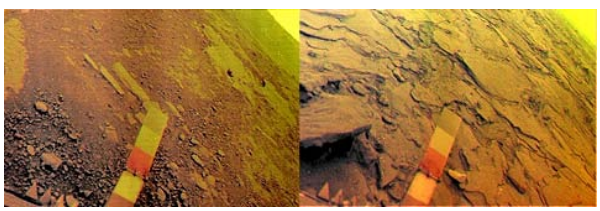
Den andra kameran bör vara känslig i nir, kortvågigt infrarött ljus, för att kunna hjälpa till med mineralanalyser. Långvågigt infrarött är sannolikt meningslöst att studera på en planet som är 460 grader på ytan.

Den tredje kameran bör vara känslig i ultraviolett, för studier av himlen, utöver mineralstudierna. Himmelsljusets polarisation kan också vara intressant att studera.

KAN KLARA AV 400 GRADER VARMT

De tre sensorerna ska titta ut rätt upp från elektronikutrymmet mot en roterande spegel, monterad på änden av ett torn. Asynkronmotorn vrider tornet med spegeln i toppen. Den drivs direkt av en motordrivkrets som skapar trefas av lämpliga frekvenser för att rotera spegeln lagom fort.

Asynkronmotorer kan användas i 400 graders temperatur, eftersom de huvudsakligen bara består av aluminium och koppar, och rotorn är kortsluten. Det finns smörjmedel som fungerar i högre temperaturer än så, till exempel molybdendisulfid, även känt som Black Molly.



Ryska kalibreringsremsor på Venus, på Venera 13 och 14.

Det måste finnas en kalibreringsremsa som de tre kamerorna kan se någon gång under varvet runt horisonten, så att man kan säkerställa färgtemperaturer, genom att se hur himmelsfärgen färgar färgfälten på kalibreringsremsan. Kalibreringsremsans utseende i 460 graders temperatur måste utprovas på jorden.

LÄS MER

KTH:s projekt:
www.hotsic.se
och
www.workingonvenus.se

Om Venerasonderna i detalj på rymdentusiasten Don Mitchells webbplats:
tinytw.se/venerasond

DEL 3

VENUS ÄR VÅR!

SPACESHIP ON A CHIP

I den avslutande delen i artikelserien om Venuslandaren spekulerar våra experter om vilka sensorer som behövs ombord, och om vad vi kan förvänta oss att finna på den ogästvänliga planeten.

TECHWORLD SPEKULERAR:

Den här artikelserien bygger på entusiastgruppen SNHT:s gissningar om hur "kretskortet" kan byggas. SNHT står för Safa Night Hacking Team (och Safa står för Svenska arbetsgruppen för algoritmforskning).

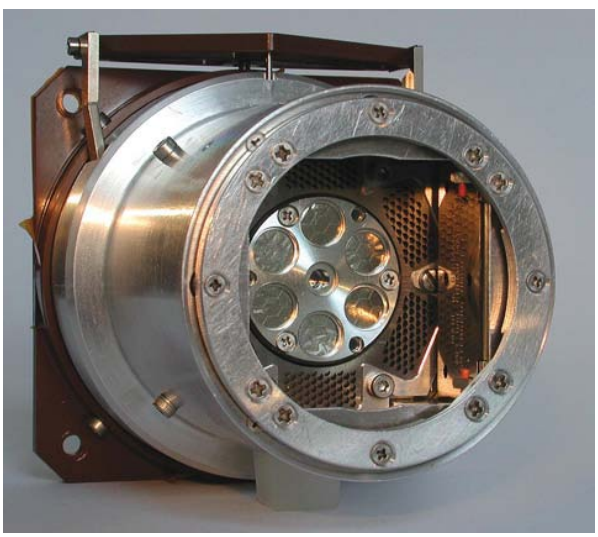
SNHT består av:

- **Thord Nilson:** Elektronikkonstruktör med switchelektronik som specialitet.
- **Per Lindberg:** Databasguru och framåtblickare.
- **Thomas Nyström:** Elektronikkonstruktör med mobiltelefoni som specialitet.
- **Jörgen Städje:** Allmän tekniktok.

SENSORER I SENSORHUSET

Temperatur och tryck torde kunna mätas med enkla termoelement och mems-sensorer. Dagsljusspektrum kan mätas med en array av fotodioder av kiselkarbid (SiC) med olika färgfilter.

En mikrofon bör finnas för att återge ljuden på Venus. Det finns ingen anledning att tro att KTH inte kan utveckla mems-sensorer i SiC som klarar den här uppgiften.

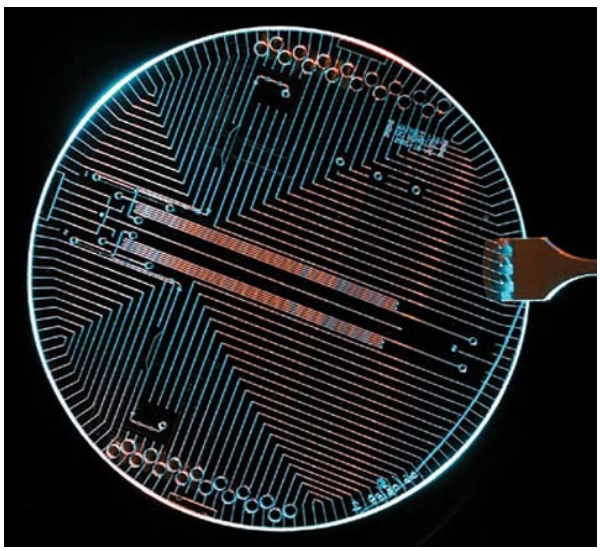


Apxs-sensor. Bild: Nasa.

Apxa-sensorn, alpha particle x-ray spectrometer, har blivit populär på alla marslandare för att utröna markens, alltså venusjordens och stenarnas, sammansättning. Den är modern och mycket enkel och består bara av en alfastrålare och ett antal dioder. Den är stor som en liten espressokopp.

Eventuellt kan man bygga en högtemperaturvariant av den. Koppens öppning ska tryckas mot marken och ligga kvar ett par timmar, medan signalen samlas in.

En arm i minnesmetall som först ligger hopknycklad, men som när den rätar ut sig, svänger ut en apxs mot venusytan över kanten på landarens skål, vore en lämplig utplaceringsmetod.



"Lab on a chip". Bild: UC Berkeley.

Sedan Veneras tid har man utvecklat metoder för kemisk analys på en krets ("lab on a chip"), till exempel gaskromatografi med mikrokanaler och sensorer nedgrävda i en kiselbit, eller i detta fall i en kiselkarbidbit. Det blir sannolikt sådana metoder man får använda för analys av venusatmosfären.

Pumpning av gasen genom mätapparaturen kan skötas med mikromotorer i mems-teknik, något som redan är utvecklat.

På Venera satt en skålkorsanemometer för att mäta vindstyrkan, men en vindmätare i form av en uppstickande tråd med trådtöjningsgivare tycks stabilare och stöttåligare.

KABLAGE

Det finns ingen anledning att tro att inte koppar skulle kunna användas som ledarmaterial även på Venus. Koppar smälter inte förrän vid 1 083 grader Celsius.

Isolationen är inte heller ett problem, utan något vi löst på jorden sedan länge för ugnar och liknande. Asbest sönderdelas inte förrän mellan 1 000–1 250 grader. Den kan glöda gult utan att något farligt händer, och det finns inga utomjordingar på Venus som kan ta skada.

Asbestväv är mjuk och asbesttrådar kan spinnas kring koppartråd, lämpligen i form av en flatkabel med 10 ledare som går ett varv runt landaren. Kabeln ska överföra både kraft och can-buss, och i och med att den går varvet runt farkosten blir den en redundant förbindelse.

Anslutningen mot elektronikmodulerna kan vara enkla skruvplintar eller om möjligt punktsvets direkt mot kretskorten.

MATERIALVAL I SAMMANFATTNING

Vad tillverkar man en venuslandare av? Det blir inget direkt exotiskt.

- Kretskort i form av keramiska plattor i aluminiumnitrid med ledare av platina.
- Flatkabel och andra ledare i koppar med isolation av asbest.
- Anslutningar i form av skruvplintar i koppar, med kopparskruv, eller ytor för punktsvetsning.
- Ablativ värmesköld av fluffigt kvartsglas.
- Övriga delar av flygkroppen i titan.
- Antenner och kameratorn i minnesmetall.
- Kameraspegel i beryllium – mycket lätt, starkt och formstabilt.

VAD KAN MAN FINNA PÅ VENUS?

Venus är helt täckt av moln. Slätterna är vulkaniska ökenlandskap. Det finns inget vatten, inte ens fuktighet. Många vulkaner är av typen pannkaksvulkaner som pressats ihop till en platta av atmosfärstrycket. Ytan har väldigt få kratrar, så den bör vara tämligen ung, inte äldre än 100 miljoner år.

Venus, målet med vår färd. Bild: Nasa.

Även den minsta bris i 92 bars atmosfärstryck blir som en vattenström i en flod, en sak man får ta hänsyn till när man konstruerar landare, så att de inte blåser bort.

Gravitationen är 0,9 g, så saker väger ungefär lika mycket på Venus som på Jorden.

Under sådana förhållanden kan inget kolbaserat liv existera. Inte för att det skulle brinna upp omedelbart, för koldioxid kan inte underhålla förbränning, men längre molekyler som dna klarar inte lång tid i sådana förhållanden och skulle alltså inte kunna utvecklas.

Trilobit – kanske på Venus? Bild: Kevin Walsh (CC BY 2.0)

Kanske vi kan hitta något annat? Varför inte kiselbaserat liv? Eventuellt i form av små skalbaggar, trilobiter eller myror med kiselskal, helt uppbyggda av kisel. Varelser som tål höga tryck hittar vi även på jorden, långt nere i haven.

En sten eller ett avhoppat linsskydd som flyttat på sig i mellan två av de ryska bilderna, eller också var det bara brus, startade en flod av konspirationsteorier om att det kanske ändå fanns liv på Venus. Men, ack nej.

Då verkar det troligare att svavelälskande dna-baserade bakterier och andra mikroorganismer kan leva i molntäcket på 50 kilometers höjd, där de inte pressas sönder eller sönderdelas av hettan, och där det faktiskt finns lite vatten.

Venuskoloni som flyter i molnen på 50 kilometers höjd. Bild: Tolgahan Güngör.

Sannolikt blir det också där som människan får tänka sig att dväljas i ballongburna flytande kolonier, den dag vi tänker resa till Venus. På 50 kilometers höjd är atmosfärstrycket ungefär detsamma som på jorden, varför man inte behöver tänka särskilt på kolonins tryckтålighet.

Väl där, kan man dock tänka sig att vi själva sprutar ut mängder av passande, genmodifierade bakterier, som kan förse planetens övre atmosfär med liv. Detta kan senare kanske skördas och bli till mat eller gödningsämnen åt kolonisatörerna, som dock får tänka sig att odla växter ombord på de flytande kolonierna.

Att gå på planetytan blir det inte tal om, förrän den är terraformad. Där finns oändligt många idéer kring detta, till exempel att använda stora gaskanoner och skjuta ut venusatmosfären i rymden. Rekylen från dessa kanoner används för att spinna upp planetens rotation från dagens ett varv på 243 dygn till kanske ett varv på 30 dygn. När atmosfärstrycket sjunkit och temperaturen likaså, kan man börja odla upp planeten.

”Venus är vår!” – Frederik Pohl

Lycka till KTH – vi hjälper gärna till!

I och med detta överlämnar SNHT sin farkostlösning till KTH att göra vad de vill med, men vi vore mycket tacksamma om vi kunde få delta i det fortsatta konstruktionsarbetet.

”På 50 kilometers höjd är atmosfärstrycket ungefär detsamma som på jorden, varför man inte behöver tänka särskilt på kolonins tryckтålighet.”

LÄS MER

KTH:s projekt:
www.hotsic.se och
www.workingonvenus.se
Om apxs från Nasa:s Jet Propulsion Laboratory:
tinytw.se/apxs
Om terraformeringen av Venus på Wikipedia:
en.wikipedia.org/wiki/Terraforming_of_Venus
Om konspirationer om liv på Venus på Daily Mail:
tinytw.se/livvenus

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

När jag började skriva om kiselkarbid år 2008 var det ingen stor sak, utan snarare experimentverksamhet. Numera kan man köpa transistorer i kiselkarbid, som har den fördelen att de tål mycket höga strömmar, höga spänningar och höga temperaturer.

Redan 1907 upptäckte ryssen Oleg Losev att kiselkarbid kunde fås att glöda blått när det genomflöts av ström – han upptäckte de blå lysdioderna, utan att förstå det. Numera har man dock övergivit kiselkarbid till förmån för galliumnitrid som lyser mycket starkare (tinytw.se/50diod).

Meningarna om kiselkarbidens högtemperaturfördelar går isär, kanske främst för att det är så svårt att koppla ihop något som glöder orange med tilledare som håller 20 grader. Men, som påpekas i artiklarna, finns det ställen i solsystemet där allting redan glöder, där det faktiskt är en fördel om även elektroniken glöder.

Så en bunt KTH-forskare är på gång att landsätta lite svensk teknik på Venus. Arbetet med utveckling av processorer och sensorer i kiselkarbid fortskrider enligt planerna. Det finns inget en KTH-student inte kan göra, bara han lägger ned hela sin själ i det (tinytw.se/wallenforsk).

En annan tänkbar framtida tillämpning är helt vanlig kommersiell elektronik – tänk dig processorer som inte behöver kylas. Det gör inget om de glöder. Det stora problemet är snarast anpassningen mot omvärlden, som fungerar bättre i rumstemperatur.

Och hör sen! Några olika processorenheter med batteripack till vänster och implantat till höger. På den övre ser man mottagarspolen tydligt. Vissa ljudprocessorer har en fjärrkontroll.

Uppgradera hörseln med Cochleaimplantat

Hallå? Hör du inte vi jag säger? I så fall är det dags att uppgradera hörseln! I dag kan personer med så skadad hörsel att inte ens hörapparat hjälper få tillbaka sin hörsel med ett mikrokirurgiskt ingrepp och en implanterad digital signalprocessor. **Text och foto: Jörgen Städje**

Hjärnan, den ultimata datorn, upphör aldrig att förvåna. Dess förmåga att anpassa sig till nya situationer och skapa ett fullgott resultat från en skadad sensor är remarkabel. En sensor, i det här fallet cochlea (hörselsnäckan), kan vara så trasig att dess funktion upphört. Då fungerar en vanlig hörapparat inte längre. Ändå kan hörselnerven stimuleras elektriskt och hjärnan kan lära sig att tolka dessa signaler som ljud.

Efter en dust med korridorerna på Huddinge sjukhus slår vi oss ned tillsammans med Gunnar Eskilsson, klinisk ingenjör på cochleaverkstan. Han tar fram ett stort öra och börjar prata psykoakustik.

– Örat och hörseln är en alldeles fantastisk apparat. Cochlea är naturens mekaniska spektrumanalysator. Hörselnerverna är via vibrationsdetekterande hårceller kopplade till basilarmembranet, som är mjukt och vibrerar med i ljudvågen. Närmast trumhinnan är membranet tämligen styvt och svänger helst med i de högsta frekvenserna, medan det är betydligt sladdrigare längre in, där det favoriserar de låga frekvenserna, säger Gunnar Eskilsson.

Bara detta att vi förfogar över ett dynamiskt område på dryga 100 decibel, bättre än någon mikrofon, är förvånande och har intill nyligen varit svårt att förklara. Vi kan nästan höra atomernas Brownska rörelse i luften och det börjar inte göra ont förrän vi står nära en varvande jetmotor. Man vet att det är *de inre hårcellerna* inne i cochlea som detekterar basilar-

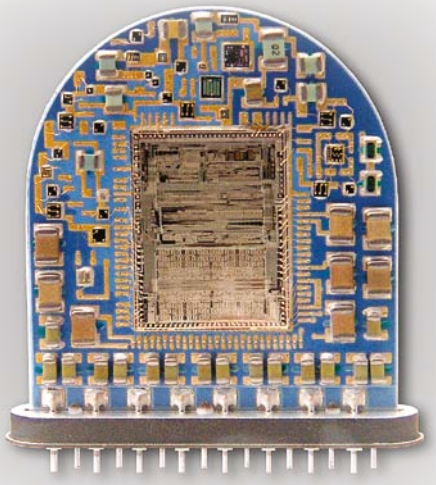
3 öronbedövande hörselfakta

» **Patienter som är helt döva** men en gång har varit hörande kan få hörseln tillbaka.

» **I dag har implantaten 22 elektroder** men virtuellt kan man komma upp i över 100.

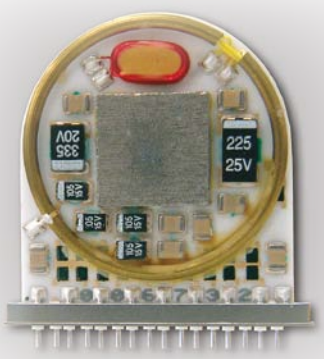
» **Processkraften ökar hela tiden,** algoritmerna blir bättre och läkarvetenskapens förståelse för hörseln ökar. Som en följd hör implantatpatienter allt bättre.

Implantatet är inte stort. Den långa ledaren innehåller elektroderna medan den korta är referenselektrod (jord).



Ett implantat utan hölje. Det är ungefär två centimeter brett och består av ett kretskort. Denna sida av kortet, som vänder inåt mot skallbenet, domineras helt av jättechipen som tar emot kodad, frekvensbandsuppdelad information utifrån och omvandlar den till nervpulser. Pinnarna längst ner går vidare till elektroderna.

Så här illa kan det se ut när hårcellerna har fått för mycket stryk av disco och mp3-spelare. De är avbrutna och tillknycklade.



Stockholm–Motala. På andra sidan, den som vänder utåt, sitter den stora mottagarspolen för kraft och ljuddata (gul) och den lilla sändarspolen för retursvar (röd). De stora svarta kondensatorerna glättar matningsspänningen från spolen. Den fyrkantiga biten är magneten som håller fast sändarspolen utanpå huden.

membranets vibrationer när en ljudvåg fortplantas genom snäckan. När cellernas toppar rörs reagerar hörselnervcellen inunder och skickar iväg pulser.

Inbyggd förstärkare

Men hur går det till att höra ljud som är i stil med blodets brus i ådrorna, då trumhinnan inte rör sig mer än en atomdiameter? Intill de inre hårcellerna sitter tunna muskelproteiner, kallade *de yttre hårcellerna*. De reagerar också på den inkommande tryckvågen och rör sig av egen kraft, förstärker svaga vibrationer och underlättar för de inre hårcellerna att detektera svaga ljud. Som en bieffekt skapar örat egna, ej hörbara ljud som kallas otoakustiska emissioner. Örat har alltså en inbyggd logaritmisk förstärkare.

Ut ur cochlea kommer cirka 3 000 hörselnerver i en millimetertunn kabel som går vidare till hjärnans hörselcentrum. Den ”lägsta” nerven överför ett pulståg som aktiveras vid 20 hertz, medan motsvarande värde för den ”högsta” nerven är 20 000 hertz. Det blir ett steg om cirka 6,66 hertz per nervcell. Ändå kan pianostämmare och musiker höra skillnader på en cent (0,01 hertz). Det är uppenbart att skillnaden i repetitionsfrekvens mellan nerven för 1 000 hertz och den för 1 006,66 hertz har stor betydelse. Detta utnyttjas ännu hårdare i cochleaimplantat, som i dag bara förfogar över 22 elektroder (kanaler).

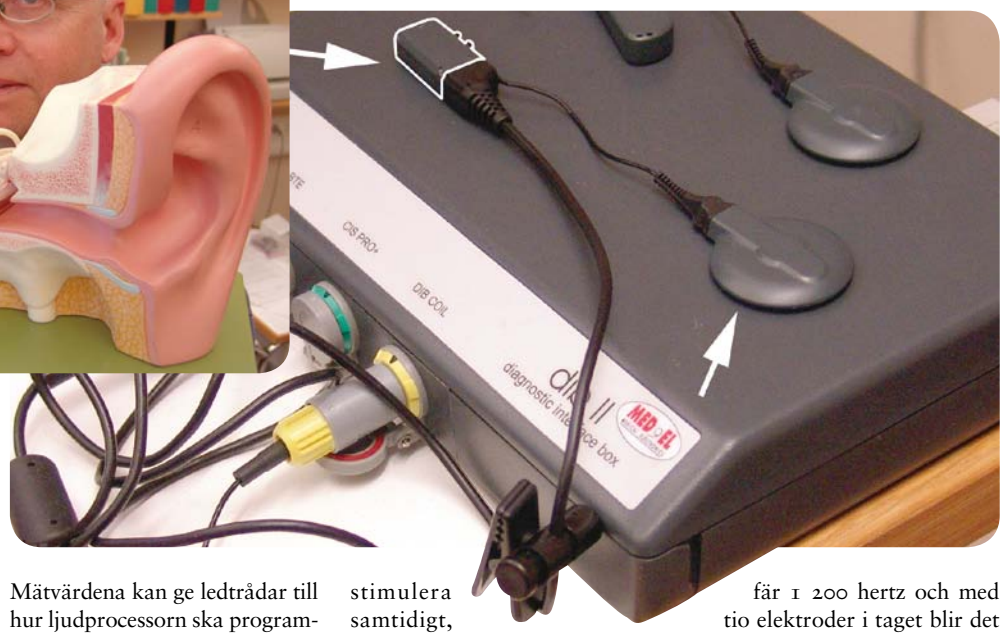
”Den bioniska människan rycker närmare. Varför nöja sig med 20–20 000 hertz?”

Processor bakom örat

Implantatet har en digital ljudprocessor som sitter bakom örat. Det har också en mikrofon och en spektrumanalysator som delar in ljudet mellan 100 och 8 000 hertz i 22 band, tar ut toppvärdena och omvandlar till datapaket, vilka sänds in till elektroniken i implantatet. Liksom vid mp3-kodning är det inte de enskilda frekvenserna som överförs, utan bara toppvärdena.

Den inopererade elektroniken tar toppvärdena och kodar om dem till signaler kompatibla med nervpulserna, alltså mikrosekundlånga strömpulser på max

Stor uppfinning. Det är här cochlean sitter och det är här man opererar in implantatet. I verkligheten är diametern fem millimeter, säger Gunnar Eskilsson, klinisk ingenjör.



Jack in! Med-Els programmeringsbox med en processor ovanpå som just nu får nya parametrar. Processorn är det lilla inramade grå blocket. Den svarta delen är bara ett kontaktdon som pluggas ur, varefter processorn pluggas in på sitt batteripack. Den grå rundeln är sändarspolen.

en milliampere. Pulserna matas ut på elektroderna, antingen single-ended, med kroppen som motpol, eller differentiellt, mellan två elektroder. Implantatet kan testa kopplingen genom att fyra av nerver och mäta den nervpuls som blir resultatet. Mätvärdena kan ge ledtrådar till hur ljudprocessorn ska programmeras för en viss individ.

Uppdateringsfrekvensen

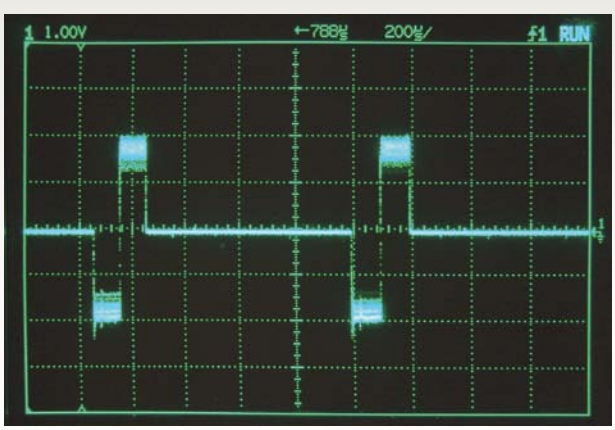
Strategierna varierar, men man kan normalt inte stimulera alla elektroder man egentligen borde stimulera samtidigt, eftersom det kan resultera i att olika närliggande signaler upphäver varandra (channel interaction). I stället delar man in tiden i tidsfönster och bestämmer att maximalt 10 av 22 elektroder får stimuleras under varje fönster, nämligen de tio som har de högsta spektrala topparna just då. Dessa ska då ligga på ”långt” avstånd från varandra.

Under nästa tidsfönster stimulerar man tio andra. Varje elektrod uppdateras med unge- får 1 200 hertz och med tio elektroder i taget blir det 12 kilohertz, vilket är den så kallade uppdateringsfrekvensen. De allra modernaste systemen kan komma upp i 80 kilohertz.

Bättre hörsel drar ström

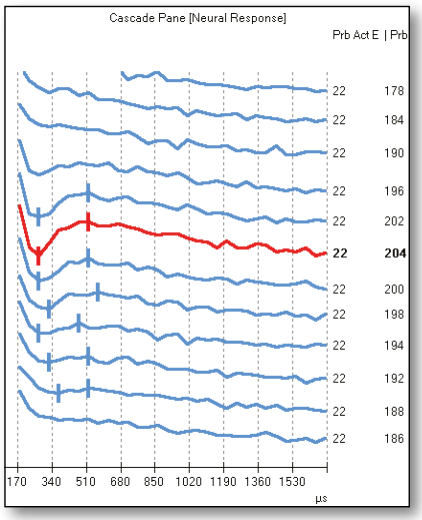
En ökad uppdateringsfrekvens ger oftast bättre hörselintryck, men drar också mera ström. Man kan välja att optimera för bättre hörsel eller lägre batteriförbrukning och inte oväntat väljer de flesta att byta batteri oftare.

En titt i oscilloskopet

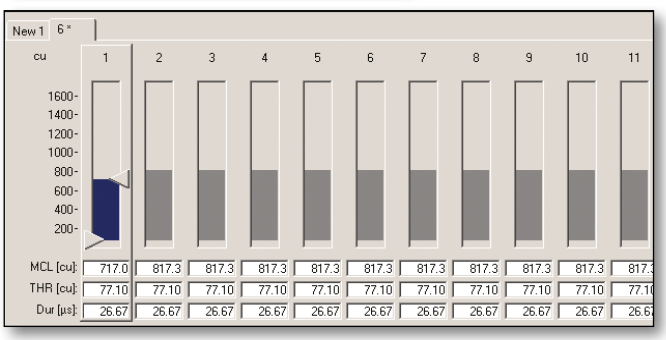


De bifasiska pulserna som stimulerar nervändarna. Den negativa pulsen gör själva stimulationen och den positiva jämnar ut laddningen i vävnaden efteråt. Annars kan man få metalljonvandring från elektroderna ut i kroppen och det kan bli otrevligt inuti cochlea. Varje puls är i det här exemplet 100 mikrosekunder och matar ut 1 milliampere. Prf är 1 052 hertz. Det betyder inte att patienten hör 1052 Hz utan att en nervände som ”betyder ” en viss frekvens stimuleras så ofta. Pulserna ser lite ”tjocka” ut, eftersom amplituden varierar med ljudet i rummet.

Räddad. Örjan Larssons hårceller i cochlea hade gått sönder fullständigt och han blev helt döv. Med implantatet hör han numera tämligen normalt. Sändarspolen sitter fast utanpå huden.



Programmet Intraop NRT från Cochlear. Implantatet provar med pulser med ökande ström och spelar in potentialen kring nerverna. Den börjar på 186 CU (clinical units). Först vid 204 CU börjar man se ett svar. Den röda kurvan visar ett tydligt, negativt svar från nerven efter 300 µs och pulsen har klingat ut efter 510 µs. Svaren loggas och kan jämföras med senare mätningar för att se trender.



Med-El CLstudio är ett program som används för att anpassa ljudprocessorer för varje patient. Kanal 1 som ger basljud har sin undre tröskel ställd till 77,1 CU, alltså det värde under vilket nervändarna inte aktiveras. Toppvärdet ligger på 717 CU, ett värde när det låter högt men inte obehagligt.

Vid operationen görs ett snitt bakom örat och kirurgen tar en mycket liten borr och borrar ett hål genom skallbenet, genom mellanörat och precis fram till cochleas undre del, och just precis in genom väggen på denna. Genom detta hål, cirka 2 cm långt, för man in elektrodtampen, mest på känn, och får den att följa cochleas spiral, varv på varv. Det kan tyckas vara en nästan omöjlig uppgift, men det fungerar. På Huddinge gör man det på cirka 100 patienter per år, varav 30 stycken är barn.

En av dem är Örjan Larsson, som kommer in på kontoret med ett leende på läpparna.

Du vet väl om att du har en massa MIPS under huden?

– Det är väl inte den värsta Power PC:n, men den är väldigt avancerad. Kiselytan är ganska biffig.

Vad hände med dig?

– Det vet jag inte. Det började redan i femårsåldern. Troligtvis har hörselcellerna gått sönder mer och mer tills jag inte längre kunde uppfatta några ljud och hörapparaten blev obrukbar. Nu har jag en Esprit 3G från australiska Cochlear. Musik har blivit mycket bättre. Jag är fortfarande punkare, men nu hör jag mycket bättre och kan lyssna på annat än punk. Ett par veckor efter operationen kunde jag använda telefon. Det har jag inte kunnat på flera år.

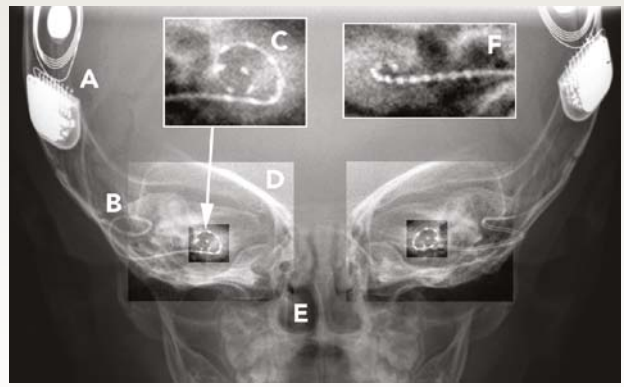
Hörselrevolution väntar

Nästa revolution blir när man kan göra ett kontaktdon som kan sättas in direkt i hörselnerven och ersätta cochlea. Då kanske hörseln kan återställas ännu bättre än i dag.

Den bioniska människan rycker närmare. Varför nöja sig med 20–20 000 hertz? Med dsp:ernas hjälp skulle vi kunna få superhörsel och höra allt från infraljud till ultraljud, höra delfiner och klara helium speech direkt och få ut mycket mer av världen, än med vanliga, gammaldags människoöron.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör. Han bloggar på techworld.se/jorgen och nås på jorgen.stadje@techworld.se.

Detta visar röntgenbilden



Här är den röntgenbild man tar efter avslutad operation. Bilden tas genom ögonen, för det är minst ben som skymmer där. Det här är en patient med bilaterala implantat (ett för varje öra). Elektroniken och mottagarspolen syns tydligt vid A och ledaren som går vidare mot cochlea vid B. Du ser hur detta 12-kanalers implantat har virat ihop sig snyggt inuti cochlea vid C. Notera den grova kanten på ögonhålan vid D och näshålan vid E. Skulle cochlea vara missbildat, som visas i F, kanske elektroden bara når in med 4-5 kontaktpunkter, men märkligt nog kan det fungera hjälpligt ändå.

Specialfallet Michael Chorost

Michael Chorost letade upp ny programvara till sitt 16-kanalersimplantat, grälade med forskare och programmerare och kunde till sist gå från total dövhet till att uppskatta Ravels Bolero igen. Läs artikeln "My Bionic Quest for Boléro" på wired.com. Med 121 virtuella kanaler kunde han till sist urskilja toner som låg 30 hertz ifrån varandra, från tidigare 70 hertz, men det ska sägas att det här är ett specialfall.

Så går du vidare

» Hörselns funktion: **sv.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6rsel**
» Karolinska Sjukhuset: **www.karolinska.se/ci**
» Implantattillverkare: **www.medel.com/english/index.php**
» **www.ucihs.uci.edu/hesp/publications/Trend_Zeng.pdf**
» **www.cochlea.org**
» **147.162.36.50/cochlea/cochleapages/theory/main.htm**
» Ljudexempel: **www.utdallas.edu/~loizou/cimplants/cdemos.htm**
» Otoakustiska emissioner: **www.est-med.com/OAE/understanding-using_OAE%20von%20Kemp.pdf**

Alla länkarna finns klickbara på **techworld.se/lankar**.

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

Inte mycket har hänt med själva elektroden sedan artikeln skrevs. Moderna uppgifter gör gällande att cochleaimplantaten av i dag fortfarande har upp till 22 elektroder i hörselsnäckan. De 8 kilohertz som behövs för att uppfatta mänskligt tal (och i viss mån musik) klipps alltså upp i 8 band med olika bandbredd. Man häpnar först och främst över den mänskliga hjärnans anpassningsförmåga, som klarar av att trolla fram någon form av njutbar musik från 22 grova frekvensband.

Det nya är möjligen mängden människor som använder sig av implantat, enkel- eller dubbelsidiga, nämligen fler än 150 000. Man räknar med att ett av tio döva barn i USA har implantat, men att andelen kommer att öka till ett av tre.

Givetvis har det skett andra förbättringar, som bättre batterilivslängd och bättre brus- och bullerdämpning för att förbättra taluppfattbarheten i bullrig miljö. Allra mest lyckat är det väl för punkaren i artikeln, som efter många år av allt sämre hörande, nu kunde höra Sex Pistols igen.

Rekordförsökets hela signalväg från norra Sverige till USA. Så här kan man beskriva trafikvägen: Luleå – Sunet (1 100 km) – Stockholm – Teliasonera (1 046 km) – Blåbjerg – TAT-14 (7 350 km) – Manasquan – Sprint (116 km) – New York.

Sunet skickar 40 gigabit per sekund under Atlanten

Swedish University Network är kända för att slå rekord över långa avstånd. Nyligen slog man ännu ett rekord och körde en fiber långt snabbare än den var konstruerad för. 40 gigabit per sekund från Luleå ända till Manhattan är inte fy skam. **Text och foto: Jörgen Städje**

På slak lina och på en enda våglängd var Sunet med i den grupp som den 24 november förra året körde dryga 40 gigabit per sekund över de 9 600 kilometrarna från Lulsundsgatan i Luleå – via Stockholm, Blåbjerg i Danmark och Manasquan i USA – till Åttonde gatan på Manhattan i New York, det snabbaste som det någonsin har gått på en enda våglängd över Atlanten.

Eller snarare under, eftersom biten under Atlanten kördes på TAT-14-kabeln, en av de tiotals fiberkablar avsedda för telefoni och dataöverföring som ligger på Nordatlantens botten. Provet utnyttjade 7 630 kilometer av kabeln och detta är första gången någonsin som en OC768/STM256-signal har överförts som en enda våglängd via ett transatlantiskt sjökabelsystem, och dessutom den längsta 40 gigabit per sekund-förbindelsen någonsin.

Fem fantastiska fakta

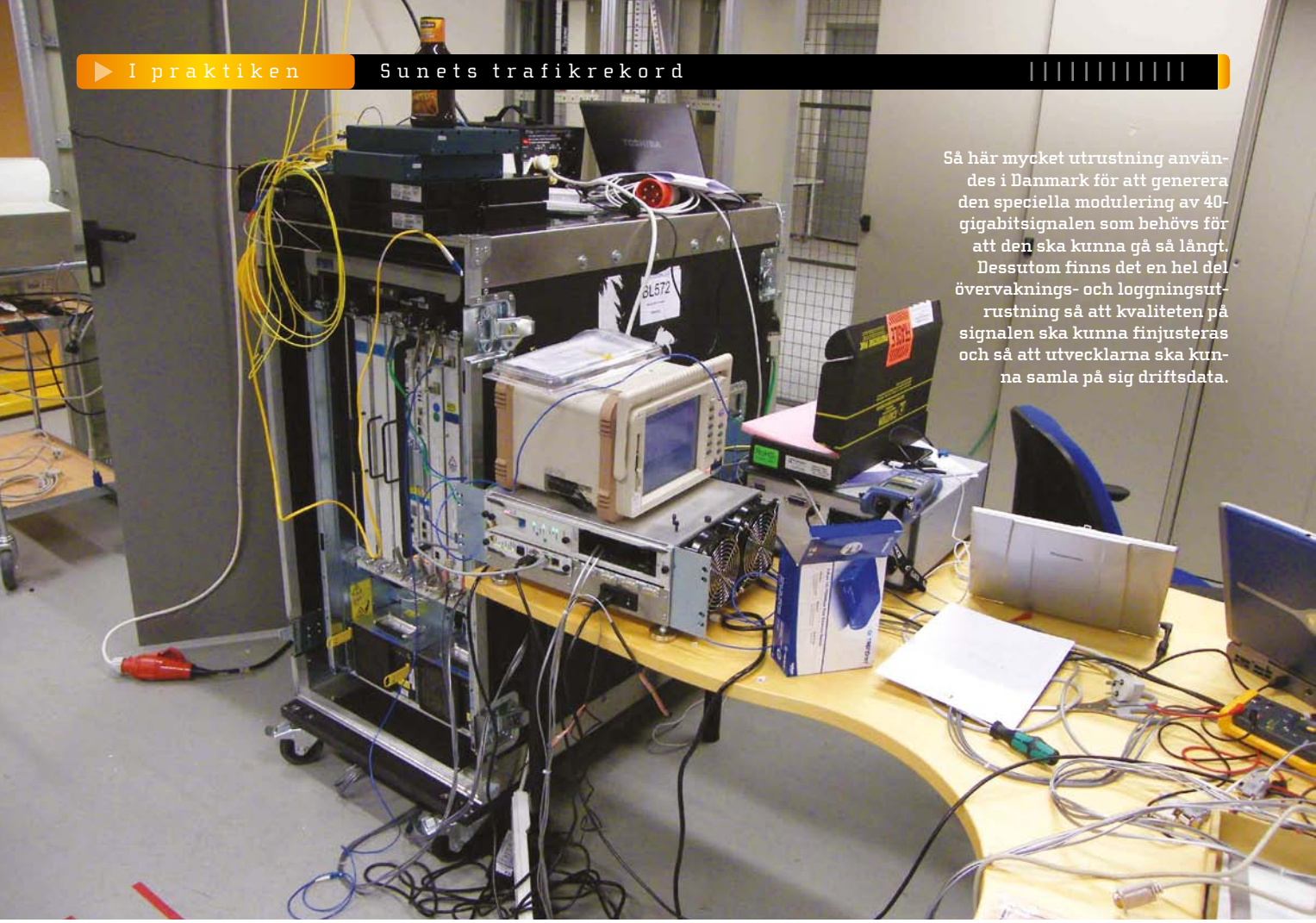
» **Sunets rekord** resulterade i världens längsta 40 gigabit per sekund-förbindelse.
» **Det blev också** den första transatlantiska 40 gigabit per sekund-förbindelsen.
» **Atlantkabeln har 147 förstärkare,** som matas med fem kilovolts likspänning från vardera hållet.
» **Från idé till verkställighet** tog det mer än ett och ett halvt år.
» **När man började** med transatlantiska fiberkablar brottades man med flera problem. Ett av dem var att hajar tuggade av kablarna, så nu har man lagt in extra förstärkningar mot det.

Börjar växa ur tio gigabit

Vi tar ett snack med Börje Josefsson, chefstekniker på Sunet.

Ni gillar det där med att slå rekord. Fast nu hade japanerna haft rekordet i "bytesekundkilometer" ett tag, eller?

– Ja, och som reglerna ser ut så blir det svårt att slå det rekordet innan det finns snabbare nätverkskort till pc. Att slå det rekordet utan att kunna köra fortare än tio »



Så här mycket utrustning användes i Danmark för att generera den speciella modulering av 40-gigabitsignalen som behövs för att den ska kunna gå så långt. Dessutom finns det en hel del övervaknings- och loggningsutrustning så att kvaliteten på signalen ska kunna finjusteras och så att utvecklarna ska kunna samla på sig driftsdata.

Det här är Nordunet ...

» **Nordunet är ett internationellt samarbete** mellan de nordiska nationella nätverken för forskning och utbildning. Nordunet förbinder dessa nät och kopplar dem till de globala nätverken för forskning och utbildning samt till resten av internet.

» gigabit per sekund från en dator är tufft. Så då tittar vi på den andra halvan av problemet ett tag.

Sedan början av 2007 har både Sunet och Nordunet haft olika test- och produktionsförbindelser med 40 gigabit per sekund.

– Men nu tog vi ytterligare ett steg för att få erfarenhet med högpresterande ip-anslutningar på långdistans. Naturligtvis är detta inte bara för att slå rekord, det har i högsta grad betydelse för den dagliga driften av våra nät. Vi börjar växa ur 10 gigabit helt enkelt.

Vad byggdes upp för försöket och vad fanns redan?

– Sunet hade sedan mer än ett år tillbaka en 40 gigabitskanal i vårt befintliga stomnät mellan Stockholm och Luleå. Den lånade vi ut, som en del av detta banbrytande transatlantiska prov.

Teliasonera International Carrier ställde upp med ett våglängdsfönster i sina nät mellan Stockholm och kabelstationen på den danska Nordsjökusten. Sedan fick man förlita sig på sina amerikanska kolleger.

– Det fanns naturligtvis även befintliga transmissionsnät hos Sprint på USA-sidan, men varken där eller på biten genom Telias nät hade man kört 40 gigabit per sekund förut, det var det bara Sunet som hade i drift sedan tidigare, säger Börje Josefsson.

Sverigefibern ligger kvar

Finns grejorna fortfarande kvar?

– Förbindelsen Luleå–Stockholm står kvar, för det är ju Sunet, samt Manasquan–New York eftersom det är Sprints vanliga ledning. Däremot är testsakerna på kabellandningsstationerna i Danmark och USA nedplockade. Sprint, och därmed hela projektet, hade fått ett två veckors ”tidsfönster” av TAT-14-konsortiet för att genomföra detta test.

Och nu är trafiken uppe reguljärt på den fibern?

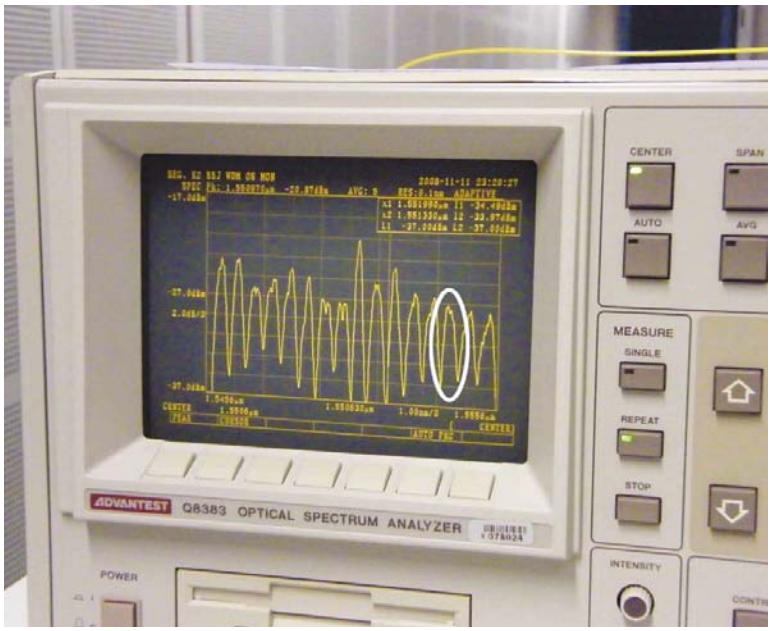
– Ja och nej, den ordinarie 10g-trafiken är återställd som den var innan testet. Det var aldrig meningen att detta skulle vara något som permanentades på en gång. Som bilderna visar är det i högsta grad en labbuppsättning som skulle användas för att utvärdera detta och se hur bra det fungerade. Nu är det upp till utvecklare och leverantörer att gå hem och göra en produktionsvärdig produkt av det hela.

Hur gör man så här mycket trafik?

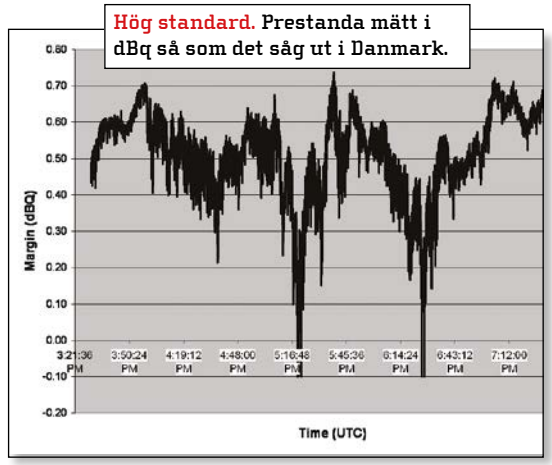
– Vi genererade ingen extra trafik för detta, bara skiftade över vår normala trafik att gå den vägen. Bättre test finns inte än att släppa på de normala användarna, då får man ett realistiskt trafikmönster. För att få mer trafik talade jag med kollegerna på Nordunet, som ju i normalfallet är de som förser Sunet med internationell konnektivi-

... och det här är Sunet

» **Sunet, Sveriges universitetsdatornät, har tjänat svenska universitet i mer än 25 år.** Alla svenska universitet och cirka 85 andra organisationer med anknytning till forskning och utbildning, totalt mer än 400 000 användare, använder sig i dag av Sunet. Nätverket har hög hastighet och mycket hög tillförlitlighet.



Hög standard. Prestanda mätt i dBq så som det såg ut i Danmark.



« Bildskärm, bildskärm på väggen där, säg vem som snabbast i världen är? En titt på den optiska spektrumanalysatorn vid mellanstationen i Danmark visar kabelns alla 16 optiska våglängder och den våglängd som användes för försöket inringad i vitt. Centervåglängden ligger på 1 550,63 nanometer. Spannet på skärmen är tio nanometer.

tet, och frågade om inte de ville vara med på detta. Nordunets driftfolk på Nunoc kunde sedan ganska enkelt styra om USA-trafiken från alla forskningsnät i Norden, som normalt går via andra vägar, och lägga den trafiken här i stället.

Detaljer, detaljer!

– För biten Luleå–Stockholm använde vi Sunets optiska transmissionssystem, samma typ som vi använde tillsammans med Peter Löthberg förra sommaren för ”världens snabbaste mamma”, bara över en längre sträcka – då var det 410 kilometer till Karlstad, nu är det 1 100 kilometer till Luleå, vilket är en utmaning i sig. Mellan Stockholm och kabelstationen i Danmark var Telia International Carrier väldigt hjälpsamma och ställde upp med ett våglängdsfönster i sina system. Deras optikfolk, speciellt gruppen i Göteborg, var väldigt intresserade och hjälpsamma, så de ska ha ett stort tack!

Men den svåra biten måste ha varit över själva Atlanten?

– Ja, kabelsystemet heter alltså TAT-14 och är cirka 7 350 kilometer långt, och består av 147 delar (span), med förstärkare mellan. Det är ett mastodontbygge och går inte alls att jämföra med de system som används på land. Kabeln överför även spänningsmatning till förstärkarna, som matas med fem kilovolt likspänning från de bägge landningsstationerna.

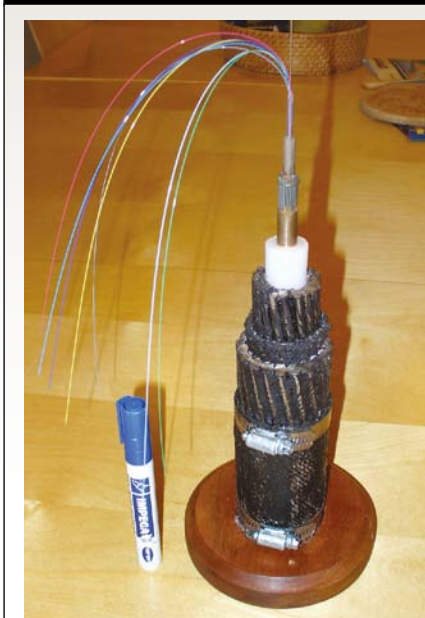
Hur kom det sig att Sunet blev inblandade i det här egentligen?

– Det var Peter Löthberg, som du ju vet har gjort en del knasiga projekt ihop med oss förr, som kokade ihop det. Han har haft den här idén i snart ett och ett halvt år nu, och vi har diskuterat det då och då medan han pratat med utvecklare och skakat fram all utrustning och alla tillstånd. Han frågade om vi inte ville vara med med vårt nät i Sverige så att sträckan skulle bli längre, och bidra med folk och våra erfarenheter. Dessutom kunde ju vi och Nordunet bidra med trafik för testet också, vilket var viktigt – att testa världens längsta 40-gigabitsförbindelse med ping tyckte vi inte var speciellt kul.

Börje Josefsson var själv nere i Danmark och hjälpte till att sätta upp allt mot TAT-14, »

”Nu är det upp till leverantörerna att gå hem och göra en produkt av det hela.”

Så här ser sjökabeln TAT-14 ut

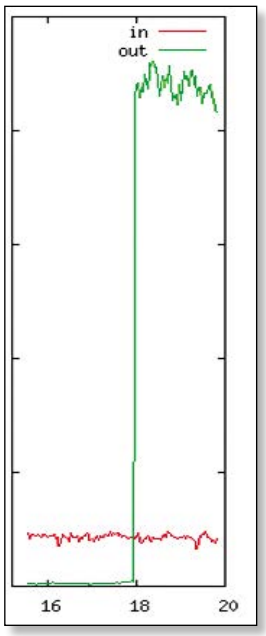


TAT-14 har fyra fiberpar. Matningsspänningen på fem kilovolt till förstärkarna läggs på mellan skyddshöljena av stålvajer.

TAT-14 (transatlantic telephone cable) är en kabel som sammanlänkar USA med England, Frankrike, Nederländerna, Tyskland och Danmark. Kabeln har fyra fiberpar, två aktiva och två backup, där den ena fibern i paret överför data i ena riktningen och den andra i andra riktningen.

Systemet består av en dubbel dubbelriktad ring med DWDM-multiplexering med 16 våglängder med STM-64-protokoll per fiberpar med 9 621 501 kilobit per sekund som last. Kabeln innehåller alltså en dubbel rutt med två fiberpar samt två redundanta par. Varje par klarar 640 gigabit per sekund. Ja, normalt alltså, inte när Sunet och Peter Löthberg får ta hand om den.

TAT-14 är TAT-konsortiets 14:e kabel. Den togs i drift 2001. Hela ringen är 15 428 kilometer. Det är en lång sladd!



Plötsligt händer det. 40 gigabit per sekund sprutar genom fibern ända från Luleå till New York.

Startpunkten. Inkoppling mot det optiska systemet i Luleå.

Labbutrustning av högsta klass. I Luleå har Sunet ett av sina testlabb, som innehåller ett antal routrar. Här kopplade man redan för mer än ett år sedan in Sveriges längsta 40 gigabit per sekundförbindelse, som nu i stället blev del av världens längsta.

medan Sprints projektteam jobbade på andra sidan Atlanten. Samtidigt arbetade man på att få i gång förbindelsen till Stockholm.

– Sedan vidtog en hel del arbete med intrimning och analys av hur systemet betedde sig, innan det var dags att skifta över trafiken. Två veckor går väldigt fort när det är mycket att göra, och tvåveckorsfönstret var benhårt – mer tid än så fick vi inte, så det var nu eller aldrig som gällde.

Besparingar i miljardklassen

Hur gick det att få de 147 optiska förstärkarna under Atlanten att gå fyra gånger fortare än de var konstruerade för?

– Det är inte transceivers som sitter under vattnet, utan det är förstärkare. I normalfallet bryr sig inte förstärkare om vad det är för signal de förstärker, så det var inget problem.

Experimentet föll väl ut – det kunde genomföras utan att grannkanalerna störddes. Börje Josefsson berättar att alla var väldigt nöjda.

– TAT-14-gänget har fått se att deras system klarar att överföra fyra gånger mer trafik än det var designat för och det finns alltså potential att livstidsförlänga det.

Finns det ekonomiska eller andra fördelar med att experimentet lyckades?

– Ja, ett sådant här kabelsystem kostar väl kanske någon miljard dollar, så det är alltså inte helt ointressant om man slipper bygga nytt i brådrasket. Stratalight som utvecklat 40-gigabitsutrustningen har lärt sig en massa, och har nu alltså utmaningen framför sig att göra en säljbar produkt av det vi testade.

> ”Norden ligger i framkanten i nätutvecklingen.”

Sunet och Nordunet har fått värdefulla erfarenheter och vi har visat att vi som forskningsnät i Norden ligger i framkanten i nätutvecklingen. Ja, alla inblandade har fått en massa erfarenheter och nya kontakter!

Och om en våglängd kan gå så fort kan alla de andra också?

– Ja, om man har ett bra designat nät och har bra koll på alla ingående parametrar så borde det fungera, bara man byter ut ändutrustningen. Det är ju bland annat det vi testat och verifierat under de senaste 1,5 åren i Optosunet. För exempelvis ”Mamma-nät” utnyttjade vi ett våglängdsfönster som normalt används för 10 gigabit och kopplade in 40 gigabit i stället, utan att byta något annat på vägen. Plug-and-play i ordets bästa bemärkelse alltså.

100 gigabit per sekund nästa mål

Att utnyttja ett våglängdsfönster på det sättet för en så lång sträcka som TAT-14 blir dock exponentiellt svårare, och det var därför som alla var så intresserade av om detta skulle lyckas eller inte.

– Detta var en fantastisk möjlighet för Sunet att få utnyttja vår erfarenhet från de interna och externa 40 gigabit per sekundförbindelser vi satt upp under de senaste åren. Forskarna i Norden strävar hela tiden framåt och deras behov av bandbredd växer hela tiden, så vad Sprint och TAT-14-konsortiet nu har visat är mycket lovande för framtiden.

Nu lämnar ni fältet och gör plats åt de företag som kan göra en produkt av er labbutrustning. Vad blir nästa rekordförsök som Sunet ger sig i kast med?

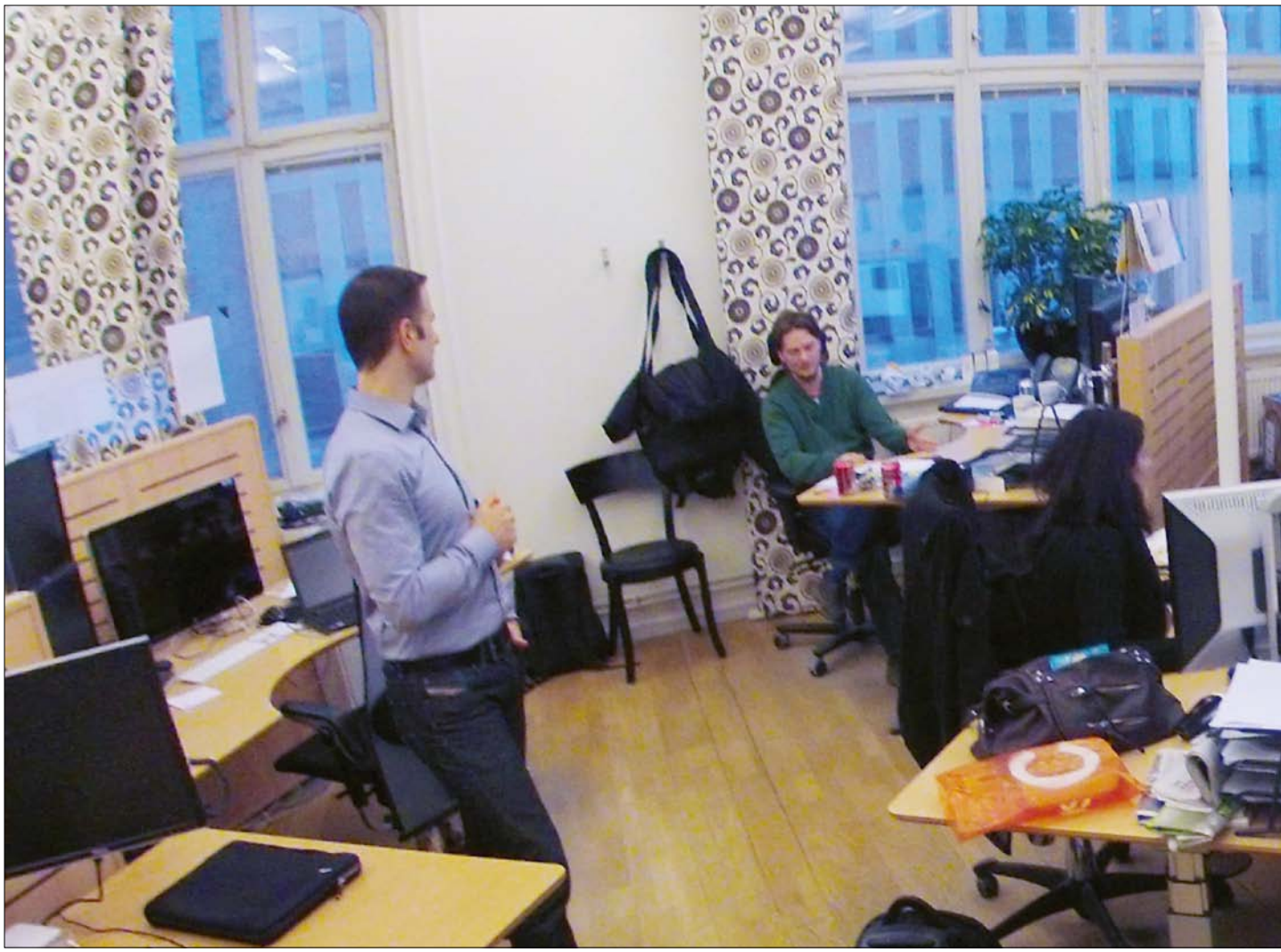
– För de kommande åren kommer vi att titta vidare på nätverk med kapacitet på 100 gigabit per sekund och mer. Jag vill gratulera Sprints projektgrupp för ip-teknik, som letts av Peter Löthberg, till deras prestation och tacka för att de gett oss möjlighet att delta i detta test, säger Börje Josefsson.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör. Han bloggar på techworld.se/jorgen och nås på jorgen.stadje@techworld.se.

Så går du vidare

» Läs mer om Sunet på **www.sunet.se**
» Läs mer om Nordunet på **www.nordu.net**
» TAT-14-konsortiet presenterar sig på: **www.tat-14.com/tat14/index.jsp**
» ”Så kan Sunet lova 100 % tillgänglighet” i **TechWorld 11/2008**

Text: Jörgen Städje



Gratis internet för n

Alla runt omkring dig sitter uppkopplade mot internet, men du blir nekad åtkomst. Det går inte att nå it-supporten, det är sent på kvällen. Känns det igen? Utbildningsväsendet har gjort något åt saken – de har skapat Eduroam.

En svensk student ska ha gratis internetåtkomst oavsett var han befinner sig i landet. Det är de ansvarigas grundtes, men det har bromsats av de nästan oöverstigliga problemen med att på ett säkert sätt tillhandahålla och underhålla användaridentiteter utanför det egna universitetet.

Bara kostnaden för att underhålla en enda identitet, med uppdateringar, support, återställning av lösenord och bakomliggande system har uppskattats till cirka 200–500 kronor per år. Om ett universitet dessutom har tusentals besökande studenter och föreläsare varje år från lärosäten i andra städer och länder, baxnar även den mest härdade it-chefen över kostnaden.

Skulle man köpa tjänsten att upprätthålla alla dessa identiteter vid alla Europas tusentals universitet skulle summorna bli astronomiska. Kunde man i stället återanvända identiteterna, skulle en väldig skalafördel uppnås.

Lämpligt i Benelux

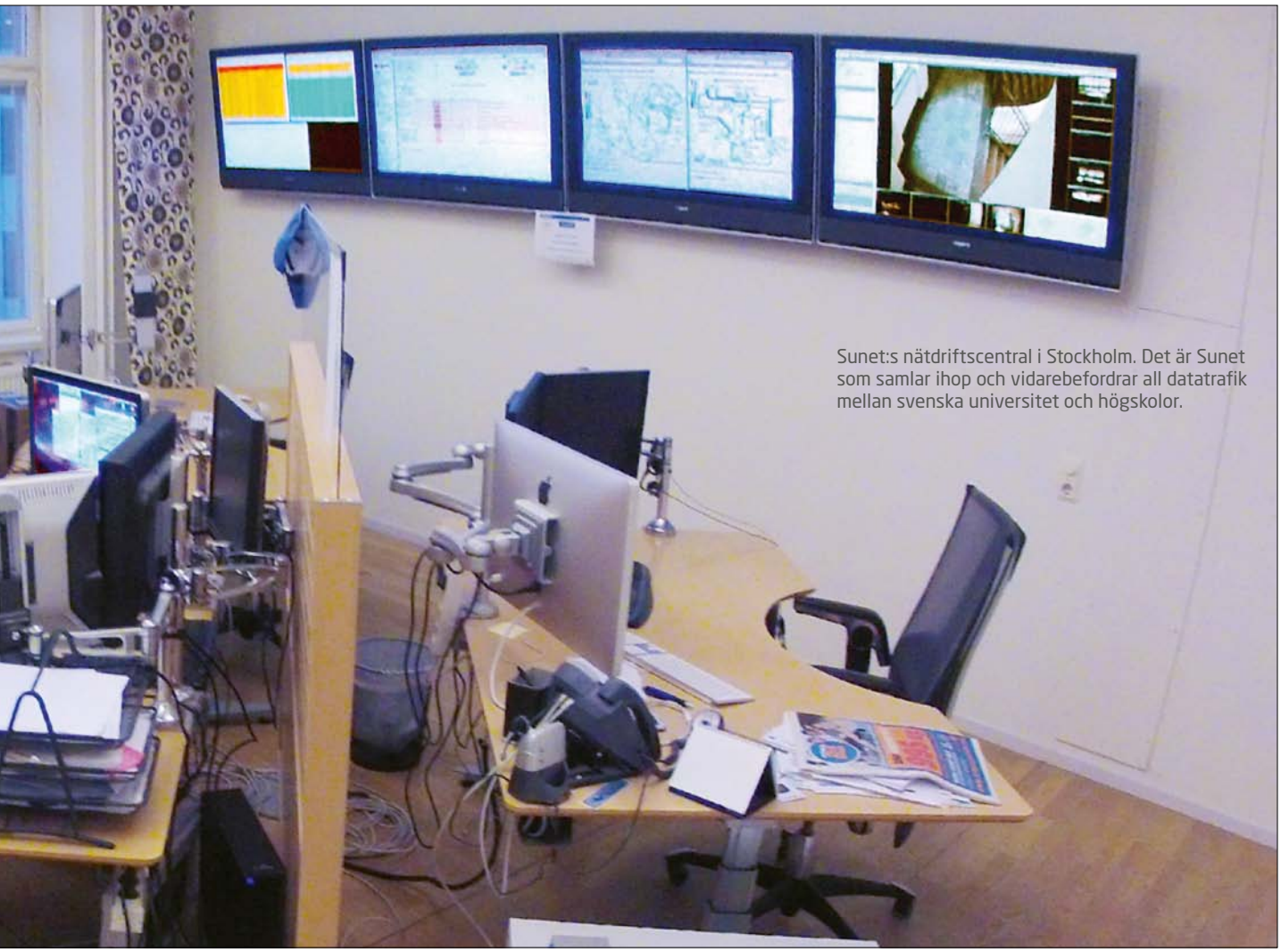
Det hela nådde kritisk massa år 2003 för universiteten i Beneluxländerna, där studenterna till och med pendlar över landsgränserna. Dittills hade alla studenter och lärare tvingats sprida sina lösenord i system överallt i Europa, men slutligen kom man fram till att det var bättre om nätverket i det besökta universitetet frågade var användaren hörde hemma och överlät åt användarens hemnätverk att verifiera identiteten.

Det hela fungerade väldigt bra och Eduroam är i dag ett förbund av identitetsfederationer över hela världen.

På så sätt kan alla användare – forskare, lärare, studenter och personal från en medlemsorganisation – nå internet på ett säkert sätt oavsett vilken annan medlemsorganisation de befinner sig hos.

Frågar två ställen

Med Eduroam görs användaridentifieringen mot användarens hemorganisation, medan beslut-



Sunet:s nätdriftscentral i Stockholm. Det är Sunet som samlar ihop och vidarebefordrar all datatrafik mellan svenska universitet och högskolor.

ästan hela världen

et att tillåta åtkomst till nätverksresurserna tas av de n besökta organisationens nätverk. I och med att identifieringen sker mot hemnätverket elimineras all ytterligare administration av lösenord och rättigheter, och därmed även kostnaderna för det.

Eduroam är en förkortning av Education roaming. Systemet använder sig av nätverksprotokollet radius och standarden 802.1x för att förmedla information om användaren från identitetsutfärdaren (användarens universitet) till tjänsteleverantören (lärosätet som står för det trådlösa nätverket).

Alla användare som är anslutna till Eduroam kan få internetanslutning hos valfri annan medlemsorganisation, och beroende på de lokala reglerna kan deltagarna också få tillgång till ytterligare tjänster, som skrivare och skanner.

Finns i 43 länder

Vi pratar med Valter Nordh på det svenska universitetsnätverket Sunet, som är ansvarig för lösningen i Sverige:

– Just nu är 43 länder med i projektet med totalt 7 600 platser, var av mer än 500 plats er i Sverige. Det var trögt att få med USA men numera finns Eduroam på 35 universitet även där, och det är under ganska rask utrullning.

Valter Nor, chef för Eduroam i Sverige.

Och det är inte nog med det.

– Det finns en nod i Ryssland, så de är också med. Indien är numera ett kunskapsland och vi har pratat med dem. De är intresserade och det har gjorts en fungerande provinstallation. Både Sydkorea och Japan håller på att rulla ut. Utrullningen underlättas genom att verktyg för installation, antingen i form av en bruksanvisning eller en installationsfil, tas fram centralt på EU-nivå som en del i EU-projektet Géant, säger Valter Nordh.

93 procent inom landet

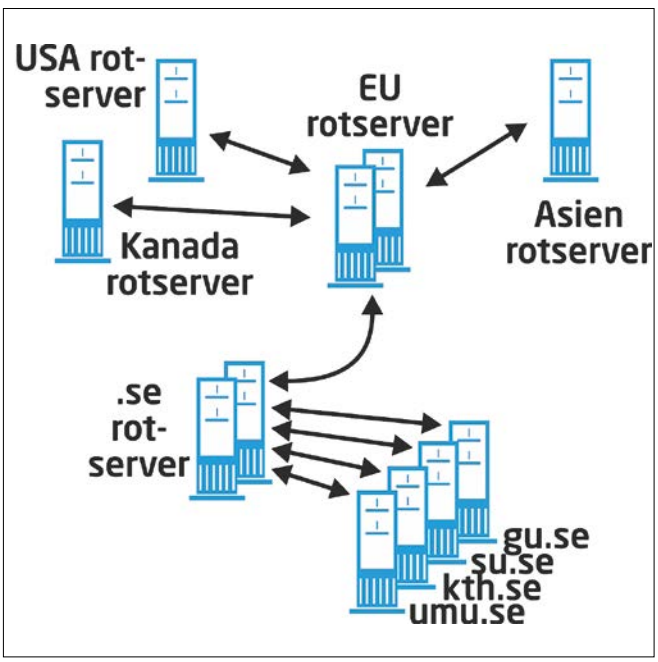
Hur mycket internationell roaming rör det sig om?

– 93 procent av all roaming är nationell och endast 7 procent är internationell. Många ser Eduroam som en metod för att kunna surfa som vanligt även under en utlandsresa, men den största nyttan är på lokal nivå, inom Sverige eller inom lokala regioner.

Hur används Eduroam inom Sverige?

– Studenterna kan i Stockholm gå mellan till exempel KTH och Stockholms univer- ▶

"Open your laptop and be online" lyder Eduroams slogan. Hittar du den här loggan och är med i Eduroam är det bara att öppna locket på datorn så är du inloggad.



Radius-identifieringen arbetar mot en server på varje lärosäte, ett antal på landsnivå, två toppdomän-servrar på EU-nivå och motsvarande i andra världsdelar. En förfrågan vandrar alltid uppåt från den server som inte kan hantera den tills den finner en server som känner igen någon del av användar-id:et, varefter förfrågan vandrar ned igen till den slutliga server som kan identifiera hela id:et.

De två svenska servrarna finns hos Sunet i Stockholm. Servrarna på EU-nivå finns i Danmark och Kroatien och servrarna för Asien finns i Hongkong och Sydney. USA har en rotserver medan Kanada har en egen, som talar direkt med EU-servern.

Just nu är över 500 lärosäten och andra platser i Sverige knutna till Eduroam.

▶ sitet och genom Eduroam få trådlöst internet. Inom Sverige täcker Eduroam i dag in samtliga lärosäten med fler än 1 000 helårsstudenter. Dessutom finns det potential för Eduroam på alla statliga museer, eftersom de sitter på Sunet, säger Valter Nordh.

– Bland annat Göteborg och Umeå kommun vill rulla ut Eduroam för att göra staden attraktiv för studenter och i Stockholm har det rullats ut på alla kommunala bibliotek och på Kulturhuset, via S:t Erik Kommunikation AB. I andra län har man fått landstingen att installera det på ställen där det bedrivs vårdutbildning i landstingens lokaler. I Örebro finns Eduroam på alla vårdcentraler.

Organisationen ställer vissa krav på en identitetsutfärdare. Medlemskap i Swamid krävs och för det krävs medlemskap i Sunet. Det senare har alla universitet och högskolor.

Se Eduroam som en samling identitetskort och en teknisk infrastruktur för att verifiera identiteter. De måste administreras av någon. Det blir ett universitet som får säga: ”Den här personen är en student associerad med oss och vi tar ansvar för honom.” I Sverige sköts det hela genom Swamid, Swedish academic identity federation, med två teknikprofiler. Den ena är Edu-

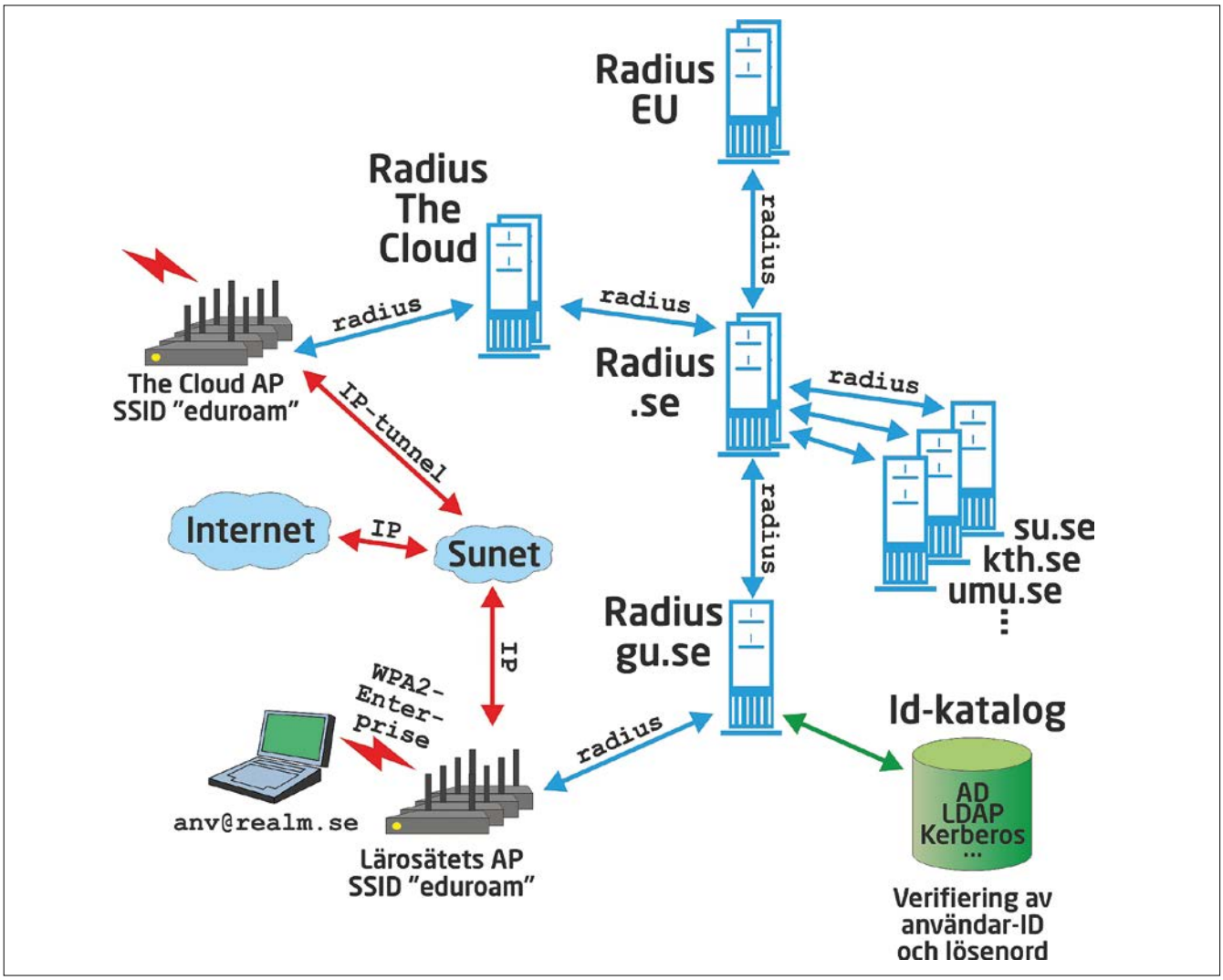
Så fungerar 802.1x och Eduroam

802.1x är ett identifikationsprotokoll som innebär att man autentiseras mot radius-servrar. När man vill logga in kommer klienten att tala med en accesspunkt via ett ssid, initialt enbart på mac-adresslagret. Accesspunkten kommer inte att dela ut ett ip-nummer förrän en radius-server har godkänt användaren. Det här används ofta i företagsmiljöer när man vill släppa in tillfälliga användare.

Det fina med Eduroam är att flera radius-servrar är kedjade så att man kan skicka en förfrågan vidare om det aktuella lärosätets server inte känner till den del av nätverket som efterfrågas och kan svara ja eller nej. Förfrågan går i så fall vidare till landsdomänen. Om inte Sverige kan svara ja eller nej går frågan vidare till Europadomänen som då vet vart frågan ska ta vägen.

Hela routningen bygger på att universitetet del av nätverket (dess realm) finns med i användarnamnet. Kommer exempelvis användarnamnet kalle@gu.se från någonstans i Europa kommer förfrågan att gå till .se, som skickar den till .gu (Göteborgs Universitet). .gu kommer att autentisera och svara ja.

Svaret går tillbaka till accesspunkten, som släpper ut kalle@gu.se på internet.



Låt oss säga att kalle@gu.se försöker logga in på det trådlösa nätet vid Göteborgs universitet. För uppkopplingen används krypterad förbindelse med wpa2-enterprise, även under identifieringsprocessen på mac-adresslagret (lager 1 i osi-modellen). Noden delar inte ut någon ip-adress innan den som vill ansluta har identifierats, utan all kommunikation försiggår på mac-lagret.

Accesspunkten börjar med att tala med radius-servern på lärosätet. Servern kan svara "Ja, det här är en del av nätverket som jag ansvarar för" och letar i sin identitetskatalog för verifiering av användarnamn och lösenord. Eller också svarar den "Nej" och skickar förfrågan uppåt till .se-servern. Den har också två val, att skicka uppåt till EU-domänen eller skicka nedåt till annat lämpligt lärosäte.

När väl identifikationen är avklarad, ansluter accesspunkten till lärosätets router, som ansluter till Sunet, som i sin tur lämnar anslutning till internet.

Om å andra sidan en Eduroam-medlem ska logga in från en flygplats som har accesspunkter från The Cloud, som inte har någon egen identitetsserver, tas kontakt med .se-servern som skickar förfrågan vidare till lämpligt lärosäte. Efter identifikationen tunnlas användarens internettrafik till Sunet som, som tidigare, lämnar anslutning till internet.

roam för trådlösa nät och den andra är web single sign-on för webbtjänster. I Sverige hanteras de båda profilerna av samma identitetsfederation, medan man i andra länder normalt har två federationer.

Måste följa regelverket

Swamid har vissa krav för medlemskap. Den organisation som vill vara med i Eduroam måste också ansluta sig till Swamid:s regelverk som säkerställer att allas identiteter hanteras på ett korrekt och säkert sätt.

Lärosätena ska ha god koll på vilka som är studenter, vilka som är anställda och att de kan identifiera dessa. De måste kunna garantera att det är en fysisk person som står bakom ett konto och de måste med god säkerhet veta vem den personen är. Att göra den typen av identifiering är ett väldigt stort arbete, men när det är gjort, får de exponera användarna mot Eduroam genom radius.

Dessutom finns ett policyramverk som anger vad man förväntar sig av varandra och en modell för incidenthantering. För lärosätet räcker det med att underhålla sin egen identitetskatalog och att sätta upp en radiusserver.

Ger både nät och id

Varje lärosäte är i dag både nätleverantör och identitetsutfärdare – man levererar alltså både trådlöst nät med ssid:et "Eduroam" och identiteter till systemet.

Men Sunet ville som sagt sträcka ut Eduroam ännu längre, och efter en upphandling blev The Cloud, som äger cirka 15 000 accesspunkter i Norden, England och Tyskland, leverantör av ssid:et "Eduroam" på ett stort antal platser inom Sverige, till exempel Swedavias flygplatser, järnvägsstationer och hamnar. The Cloud är då bara nätleverantör, inte identi- ▶

Eduroam sträcker sig från Hammerfest i norr till Kanarieöarna i söder. Den västligaste noden finns på Azorerna och den östligaste i Armenien. Utöver det finns ett hundratal noder i Australien och Nya Zeeland, Brasilien och Chile. Universiteten i USA är på gång, men finns inte med på kartan ännu. Medlemsrapporteringen till databasen är frivillig.

▶ tetsutfärdare. Sunet betalar en månadsavgift per ansluten användare för det.

Skulle inte kommunerna kunna spara pengar på att göra samma sak?

– Massor! Men det är en mycket större fråga än Eduroam. Titta på vad stat och kommun skulle kunna spara på att ha en egen infrastruktur. På alla ställen där man bjuder in folk, måste dessa kunna hämta ut en gästidentitet. Det skulle man kunna skippa, säger Valter Nordh.

Vill ha med alla skolor

– Varenda elev i grund- och gymnasieskolorna ska ha en dator i dag. Vi har haft en diskussion med Skolfederation.se om att kunna ansluta alla gymnasie- och högstadieskolor också, och vi skulle tycka det vore jättekul att få med dem i Eduroam. Det gäller bara att de uppfyller Swamid:s ramverk.

Finns det kommersiella konkurrenter?

– Bra fråga. När det gäller alternativ som är krypterade och säkra är Homerun1.x eller Ipassconnect två kommersiella exempel.

När det gäller okrypterad åtkomst finns till exempel tjänsten Fon och de internationella roamingavtalen mellan telekomoperatörer för wi-fi-åtkomst. Det syns bland annat i Lufthansaloungen på amerikanska flygplatser, där kan man logga in med sitt Telia Homerun-konto, som alltså också fungerar som en identitetsutfärdare. Dock tar de normalt ut en minutavgift när man roamar.

Vad kan en hackare vilja göra mot Eduroam?

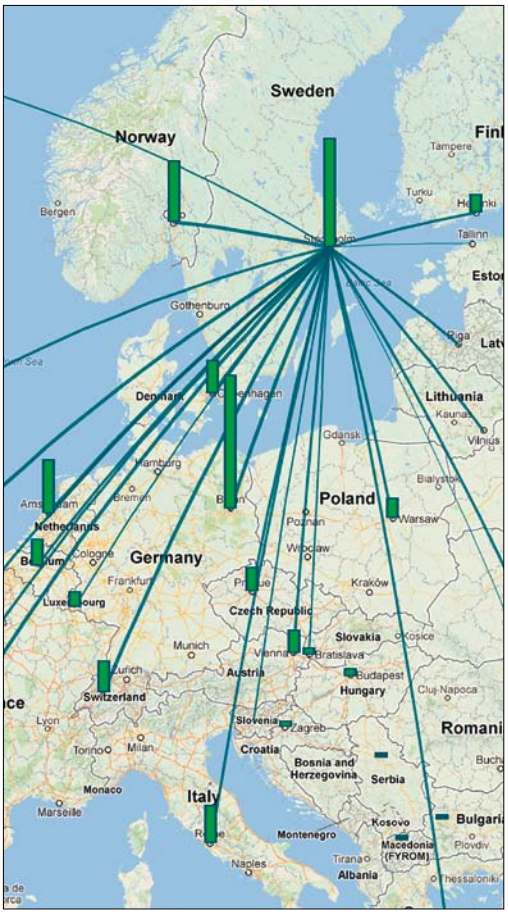
– För någon tid sedan hade vi en incident där vi helt enkelt stängde av ett lärosäte från Eduroam. Det gjorde ont och det var inte roligt för det lärosätet. De hade haft ett intrång på sin identitetsserver med trolig spridning av användarnamn och krypterade lösenord. Då identiteterna användes inom Swamid bröt vi kontakten med Eduroam och web single-sign-on ut, och de fick sätta nya lösenord för de studenter som skulle använda sig av Eduroam.

– Det har hänt, och det är hanterat. Det var kanske det viktiga, att vi kunde hantera det. Det är möjligt att det kan komma att hända igen, och då får man bryta kontakten igen, säger Valter Nordh.

– Tänk dig kostanden i arbetstid för att varje användare ska komma till helpdesken och identifiera sig med id-kort och få ut ett nytt lösenord. Låt oss säga att det är 10 000 stycken och det kostar 50 kronor per person. Det lönar sig för lärosätena att hålla en stor, stark mur runt sina identitetsservrar eftersom det är ett av de dyraste system man kan få intrång i.

Risk för attack

Det finns en teoretisk möjlighet att 802.1x-supplikanten kan konfigureras fel i klienten, så att man i de fall man använder användarnamn och lösenord kan bli utsatt för en man-in-the- middle-attack om man inte korrekt verifierar namnet och den tillhörande signeringsroten på den identifierande radiusservern. Det finns tyvärr vissa klienter som inte stöder verifiering av både radius-servernamn och signeringsrot. Det här avhjälps



Systemet levererar utförliga rapporter om antal inloggade på Eduroam och alla trafikvägar.

Som en liten, liten del inuti den här serverstapeln hos Sunet körs de två virtuella instanserna av radius som hanterar hela Sverige.

En av de stora Juniper-routrar som hanterar hela den svenska universitetstrafiken på Sunet.

Samarbetet med The Cloud resulterar i en del nätverkstrafik som slussas in genom den här Juniper-routern. Den nat:ar också ip-adresserna till The Cloud eftersom Sunet inte har tillräckligt med verkliga adresser att dela ut. Och jo, man är på väg att införa ipv6.

»Det gjordes en kundnöjdhetsundersökning på Chalmers och en kommentar från de anställda var ”Eduroam är det bästa som har hänt!”«

dock genom att man nyttjar en egen signeringsrot som man själv har kontroll över.

Federationspolicyn är medvetet gjord med öppen källkodslicens, så den som vill kan ta den, modifiera den och använda den. Den har återanvänts av olika EU-organ ett antal gånger.

När det gäller identitetshantering ligger Sverige långt framme.

– Vi började ganska sent med federerad identitetshantering i högskolesektorn, något som började på tidigt 2000-tal i USA med programvaran Shibboleth. Vi hade alltså fördelen av att ha deltagit i ett antal grupper där man diskuterat för- och nackdelar. Det var av den anledningen vi undvek att skapa två skilda federationer och organisationer, webb kontra trådlöst. Sverige ligger väl framme i Europa, det finns inget land där en större andel av studenterna använder Eduroam, säger Valter Nordh.

Fler måste förstå

Han berättar att Eduroam fungerar på de flesta av de vanligaste plattformarna, och förutom Windows, Linux och Mac OS, även Windows Phone, Iphone, och Ipad.

– Ändå är det en stor utmaning för Sunet hur vi ska få ut budskapet om Eduroam till studenterna. Vi är bättre på teknik än på marknadsföring. Svenska studenter vet inte om vilket fantastiskt verktyg Eduroam är. Kunskapen om hela vidden av systemet är låg.

– I stället klagar många på att det är svårt att konfigurera och använder 3g, trots att här finns en gratis höghastighetsväg ut på internet. Det handlar om hur aktiv man är på de olika lärosätena med att informera studenterna. Vi jobbar på det. Det gjordes en kundnöjdhetsundersökning på Chalmers och en kommentar från de anställda var ”Eduroam är det bästa som har hänt!”, avslutar Valter, inte så lite nöjd. ■

Läs mer

Eduroam i Sverige:
▶ **www.eduroam.se**
Eduroam internationellt:
▶ **www.eduroam.org**
Swamid:
▶ **www.swamid.se**
Swamid:s policy för att säkra identiteter (pdf):
▶ **tinytw.se/swasec**
Skolfederationen, Swamid:s motsvarighet för grund- och gymnasieskolor:
▶ **tinytw.se/skolfed**
Om att sträcka ut Eduroam utanför lärosätena (pdf):
▶ **tinytw.se/eduout**

Jörgen Städje
TechWorlds teknikguru svarar gärna på frågor via
▶ jorgen.stadje@techworld.se

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

De svenska universitetens eget nät Sunet brakar på. Bygget av det nya hundragigabitsnätet är i full gång (tinytw.se/motorvag). En ny satsning blev nödvändigt dels på grund av att fibertekniken utvecklats väldigt på tio år, dels på grund av att den befintliga utrustningen inte längre kunde byggas ut.

Ytterligare en annan anledning är att universiteten slukar så mycket data numera. Och mer ska det bli, särskilt när Råö-teleskopet ska börja ta i ordentligt i samarbetet kring vlbi, very long base interferometry, och när Cern börjar skicka ut mätdata till hela världen för bearbetning.

Hela härligheten skildras löpande av undertecknad på Sunets sida Fiberfeber – www2.sunet.se/bloggdel/fiberfeber

Extrema skrivare

Att skriva ut, det är väl när man trycker Ctrl-P och Enter och går till skrivaren och hämtar papperet? Mycket mer kan det väl inte vara – eller?

Av Jörgen Städje

Om du trodde att papper var det enda man kunde skriva ut på, har du misstagit dig grundligt.

Det går bra att skriva ut på både sten, plåt, tyg och plank, och vill du ha en lite mer beständig utskrift kan du låta en plotter gravera den i plast, plåt eller trä. Ska det vara ännu mer exotiskt kan du låta en laser gravera valfri bild på sten, stål, titan, kakel, glas eller läder genom att helt enkelt förinta de delar av materialet som inte ska vara kvar. Men längst upp på exoticitetsskalan ligger ändå möjligheten att skriva ut inuti glas – alltså att mata ut en tredimensionell bild ritad i ett CAD-program inuti ett glasblock.

Vad har alla de här metoderna gemensamt?

Jo, från att tidigare ha varit mycket dyrbara specialtillämpningar har de gått till att numera kunna skötas från ett vanligt kontor med maskiner som är anslutna till en Windows-PC, och kan användas av icke-specialister. Indata är helt okomplicerade TIFF-bilder, EPS:er eller AutoCAD-filer. Följ med till skyltfabriken Inntech i Saltsjö-Boo utanför Stockholm och se hur man gör.

Kunnigt folk behövs alltid. Inntech har en egen layoutavdelning som tar hand om kundernas original och ser till att de kan skrivas ut korrekt. Det går bra med EPS, TIFF, QuarkXpress, InDesign, ja, lite vad som helst.

Den fräsande plottern

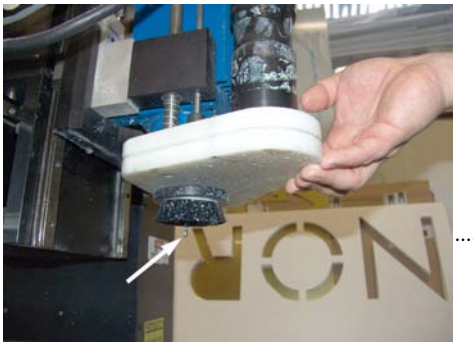
Det är inte bara Stålmannen som kan gravera sitt namn i metall. Det kan du också göra med en fräsplotter. Fräsplottern Multicam 48 plus består av ett bord över vilket en datorstyrd robotarm kan matas hur som helst i X- och Y-led. Plottern kan sänka och höja ett fräshuvud mot materialet, och med en liten pinnfräs kan den antingen skära igenom materialet helt – om resultatet ska bli lösa bokstäver som senare ska limmas på en skyltbas – eller bara ta sig ned halvvägs och skära ut en försänkning i materialet om man vill ha snygga matteringseffekter i något genomskinligt ämne.

Inntechs fräsplotter kan fräsa i allt som fräststålet tål, vilket inkluderar plexiglas, PVC, aluminium och trä, på ett bord om 1,3 × 2,6 meter.

Indata kan vara i stort sett vad som helst som är maskinläsbart. Layoutavdelningen tar emot rena TIFF- eller EPS-filer, men klarar också layouter gjorda med exempelvis InDesign eller QuarkXpress. Dokumenten läses in och kontrolleras så att de kan skrivas ut med gott resultat.

Så här stora utskrifter har särskilda krav. Först och främst måste upplösningen vara tillräcklig. Även om skrivarna klarar 300 DPI använder man sällan mer än 150, om ens det. Ingen har behov av 150 DPI om man ska kunna se banderollen på 25 meters håll; då kan 25–30 DPI räcka alldeles utmärkt. Är bilderna grövre än så måste bildpunkterna interpoleras för att man ska få en mjukare effekt. Med för hög upplösning, å andra sidan, kan skrivaren förbruka flera gigabyte på tio meters utskrift, och det är tungt att hantera.

För att det svarta ska se riktigt svart ut duger det inte att bara trycka svart färg, någonting de flesta layoutprogram ställer till med underfärgsborttagning. Istället trycker



Fräsplottern. Denna Multicam 48 Plus från Machine Automation Technologies används när man vill skära ut bokstäver eller figurer för skyltar i lite tjockare material, uppåt 2-3-4 millimeter. Den matas med EPS-filer och kan alltså bara skära konturer. Här är den laddad med plexiglas med blå skyddsfilm överst.

Mitt i borsten som ska förhindra sprut, sticker en tremillimeters pinnfräs ut. Den klarar att fräsa i makrolon, plexiglas, trä och aluminium till exempel.

Skärplottern TA41 kan skära ut på 1 200 × 1 200 millimeter bred film, och kan mata ut mer film från en rulle om skylten ska vara längre. Eftersom noggrannheten är bättre än 0,1 millimeter kan den utan vidare hitta tillbaka i spåret där den slutade om den skulle behöva mata ut en meter film till. Filmen hålls fast med vakuum på skärbädden under arbetet och blåses loss med tryckluft när den ska matas fram. Längst bak står arbetsstationen som köar alla plottjobb.

Skyltfilm finns i många PMS-färger och består av självhäftande färgfolie på vaxad pappersbas. När man fäst figurerna på skylten, bilen, bussen eller vad det nu är som ska dekoreras, kan man lägga på en väderskyddsfolie ovanpå som skydd mot sol och slitage.

Plottern skär i folien med en vridbar kniv som följer med i alla kurvor.

man samtliga färger tillsammans, cyan, magenta, gult och svart. Banderollväven tål nämligen betydligt högre densitet än offsetpapper.

För filer som ska plottas på fräs- eller skärplotter måste man förstås också se till att filen bara innehåller konturer (banor) och att dessa hänger ihop.

Hur går det till då? Jo, alltihop matas ut som postscriptkod och tas in i skrivardrivrutinen. Nu är det lite mer avancerat än en vanlig skrivardrivrutin, särskilt som det rör sig om väldigt stora datamängder. Resultatet kan som sagt bli flera gigabyte. Inntech har en särskilt stark PC med dubbla Xeon-processorer som rastrerar (rippar) postscript-filen till ett format som VUTEk-skrivarna behärskar. Därefter tankas den omgjorda filen ut till respektive skrivares lokala arbetsstation där den kan bearbetas vidare. Flera utskrifter kan läggas upp bredvid varandra för att spara banderollväv, de kan vridas, spegelvändas och så vidare, men eftersom det handlar om den färdigrastrerade filen kan man inte göra någon ytterligare bearbetning.

Sveriges vassaste penna

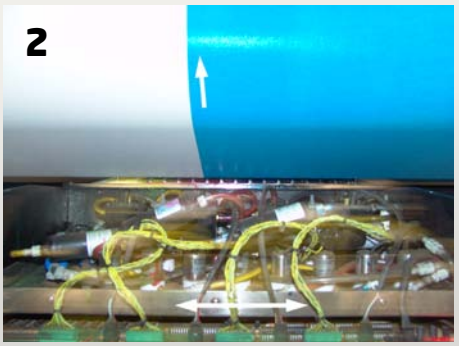
Dekaler av olika slag är mäkta populära, dels för att dekorera bilar, bussar och fönster och dels för skyltframställning. En stor fördel med dekaler är att de kan böjas runt hörn och oregelbundet formade föremål som till exempel stänkskärmar. Du har säkert sett bilar och motorcyklar med eldflammemönster, taxibilar med stora tillfälliga reklamtexter eller spårvagnar eller bussar med hela bakänden täckta av en skylt. De allra flesta butiksskyltar för utomhusbruk man ser idag är framställda med en skyltfolie häftad ovanpå mjölkvit akryl, bakbelyst med lysrör.

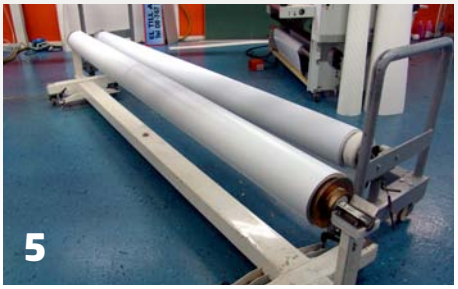
Framställningen här går till så att man matar ett självhäftande dekalark genom en plotter, en sorts plan, datorstyrd ritapparat som har en mycket speciell, vridbar kniv istället för penna. Arket består av en färgad, självhäftande film på vaxpappersbas. Plottern skär ut figurer, bokstäver och ramar med mera utan att skära igenom vaxpapperet så att arket fortfarande håller ihop.

Arket tas så ur plottern och man tar manuellt bort de bitar som inte ska vara kvar. Därefter lägger man på en bärfolie med lägre häftgrad så att man kan ta bort dekalen hel och hållen från vaxpapperet utan förskjutningar, applicerar dekalen på det som ska dekoreras, varefter man försiktigt tar bort bärfolien igen.

Den färdigskurna dekalen har skarpa kanter och kan skadas av nötning, så ofta lägger man på en skyddande genomskinlig eller matt film ovanpå, som dessutom hindrar vår kära sols ultravioletta strålar från att bryta ned dekalfolien.

Har man flerfärgade motiv delar man upp bilden i flera plottomgångar och sätter i nya folier med nya färger allt eftersom. För att spara folie kan arbetsstationen som matar ut plottjobben fiffigt nog köa jobb med samma





SKÅDA INKJETMONSTRET

VUTEk UltraVu 3300 skriver ut med 300 DPI på 3,2 meters bredd och klarar 30 m² per timme. Tänk dig för innan du trycker Ctrl-P, för du kan stå med en 30-meters bild på svärmor innan du vet ordet av! Nej, sanningen är att utskrifterna måste köras genom en dator som rippar postscriptfilen till en rasterfil först, som sen måste köas mot en arbetsstation vid skrivaren.

Våden kommer underifrån, förvärms för att bläcket ska torka fortare och matas ut, framåt. Skrivhuvudet åker på den långa, horisontella banan och sprutar uppåt. Arket åker vidare uppåt och över skrivaren och glider över en teflonbelagd, varm yta som slutligt torkar bläcket.

1. Skrivhuvudet parkerat i tvättläge. Och du klagar på att din lilla Deskjet är besvärlig att göra ren! Det här huvudet kostar uppemot 37 000 kronor, så det vårdas ömt, tvättas och pysslas om.

2. Här lyckades jag fånga skrivhuvudet under utskrift. Det går fort. Det rör sig från sida till sida på bara någon sekund.

3. Det går åt mycket färg när man ska skriva en banderoll stor som en husvägg. Så skrivaren har femliters färgdunkar. Färgen köps i en-gallonsflaskor à 125 dollar, och utskriften betingar cirka 15 kronor per m² i rena färgkostnader.

4. VUTEk har andra produkter också, som den här ”lilla” 2360SC på 360 DPI. Den är några år yngre än den stora VUTEk-skrivaren och har, precis som moderna fotoskrivare, sex färger (SC = six-colour), med ljuscyan och ljusmagenta för bättre täckning i ljusa toner. Med ljusare färger kan man sätta rasterpunkterna tätare vid lägre densitet och slipper prickiga bilder. Men utskriftsbredden är bara ”ynka” två meter. Skrivarhuvudet sitter på ovansidan av den uppvärmda skrivytan och arket dras framåt.

5. Alla Inntechs skrivare skriver ut på kontinuerliga rullar. En rulle är på 200 meter och så tung att den måste köras fram på en särskild vagn. För vanliga skyltar använder man obruten banderollväv i nylon, men för husväggar, där väven ska ge mindre luftmotstånd, använder man nät.

6. När utskrifterna är klara kan de 3,2 meter breda remsorna, veporna, behöva skarvas ihop till bredare ark. Allt ordnas på skarvbordet och högfrekvenssvetsas med apparaten i bakgrunden. Dessutom kan man förse arken med starkare kanter, eller kanaler för invändiga stag.

färg efter varandra och stapla dem tätt på folien.

En specialtillämpning är den blästerfolie som används för stenarbeten, bildstenar, gravstenar, plaketter, minnesstenar och så vidare. Det är en särskild självhäftande gummiduk som kan skäras med knivplotter och appliceras på blankpolerad sten på samma sätt som skyltfolien. Gummit tas bort på de ställen där det ska vara fördjupningar i stenen, varefter alltihop blästras med en blästerpistol. Blästersanden nöter bort de oskyddade delarna av stenen, medan gummiduken skyddar det övriga. Efteråt rivs gummiduken bort och fördjupningarna fylls eventuellt i med färg eller guldfolie. Ett typiskt exempel är Estoniamonumentet som består av många stående stenplattor med många hundra namn.

Plottern kan också förses med frästillsats för att skära i hårdare material som kartong och plaster. Dessutom kan screentryckta dekaler konturskäras med hjälp av en optisk följare som ser optiska styrmärken, en Opto-Scout.

Att synas på stan

Dekaler och gravstenar i all ära, men att täcka ett helt fyravåningshus med en jätteutskrift –

eller varför inte en buss eller ett helt tunnelbanetåg – känns inte det som något du alltid velat göra? Det görs numera varje dag.

Det handlar om bläckstråleskrivare av det enormare slaget. Vi talar inte storformat, vi talar Grand Format! Vi har svårt att klara oss från habegäret när vi får se de enorma sprut-huvudena, dunkarna med färg och förrådsrullen med 200 meter banderollväv hela 3,2 meter bred.

VUTEk UltraVu 3300 är *massivt* imponerande med sina fem meters längd och möjligheten att skriva ut med 300 DPI på en hel husvägg, ett segelbåtssegel, tapeter, fotokonstverk, ja, ungefär vad som helst som ska vara vansinnigt stort. Skrivhuvudet är cirka 40 centimeter långt, och det går åt hela *hinkar* med färg som Inntech köper som vi andra köper snabbvinsatser.

Lillasyster UltraVu 2360SC är något mindre, men med lite högre upplösning, otroliga 360 DPI. Den används mest för mindre banderoller, men även med självhäftade folie när det gäller att klä in bilar, bussar eller det nyss nämnda tunnelbanetåget.

Skriver ut med åtta färger

VUTEk utvecklar sina skrivare hela tiden. Utöver vanliga CMYK-maskiner och sexfärgsskrivare har de åttafärgsskrivare där man kan skriva vanlig CMYK plus en ljusare variant av varje färg CMYK. De extra färgerna används alltså inte för att återge en större färgrymd, utan för att man vill kunna skriva ut tätare på ljusa motiv och på så sätt undvika en prickig bild. (Alternativt kan man köra två gånger CMYK – då blir det dubbla utskriftshastigheten.) Och din banderoll förblir väderbeständig i och med att färgerna är lösningsmedelsbaserade. De regnar inte bort.

Dessutom är nya skrivare på väg som kan skriva ut på plana föremål, till exempel plåtar eller skivor av konstmaterial. Dessa kommer att matas genom skrivaren på ungefär samma sätt som man matar en OH-film genom en laserskrivare, alltså in genom en springa på framsidan och ut genom en öppning baktill.

Dessa moderna skrivare skriver med UV-härdande färg och har en ultraviolett lampa på varje sida om spruthuvudet, som härdar färgen så snart den sprutats ut. Den här UV-härdande färgen har den stora fördelen att den fäster på snart sagt alla material, eftersom den inte alls behöver sugas in i materialet. Därmed ligger vägen öppen för att skriva ut på glas, plåt, plexiglas och en rad olika konstruktionsmaterial med flera meters bredd.

Men vattnas det i munnen så kostar det. Även om priserna har gått ned de senaste åren får du ändå slanta upp mellan 1,7 och 4 miljoner kronor för en dylik monsterskrivare.

På djupet

Nu ska vi hur som helst ner under ytan. *Sub-Surface Laser Engraving* (SSLE) måste vara den absoluta toppen av underliga utmatningsmetoder just nu. För en titt på det besöker vi

Ovan: Tre hopsvetsade vepor i en tre våningar hög utskrift. **Nedan:** Två vepor hopskarvade till ett ark med förstärkta kanter upp- och nedtill.

Ovan: enkel vepa spänd över skyltstomme. **Nedan:** vepor på halv bredd med förstärkningar upp- och nedtill.

Skriv ut en hel buss! Här används för-perforerad folie så det går att titta ut genom fönstren.

Banderollskrivaren

» **Modellbeteckning:** VUTEk UltraVu 3300
» **Tillverkare:** Efi-Vutek, Meredith, USA
» **Typ:** UltraVu 3300
» **Banans bredd**: 3,2 meter
» **Media:** Banderollväv i armerad PCV-plast på 200 meters rulle. Även hålväv för utomhusapplikationer.
» **Upplösning:** 300 DPI är möjligt, men normalt används 150. På längre avstånd fungerar 25–30 DPI lika bra och ger betydligt mindre utskriftsfiler.
» **Utskriftsmetod:** Bläckstråle med lösningsmedelbaserade CMYK
» **Hastighet:** 30 kvadratmeter per timme
» **Typ av indata:** rasterbilder, vektorbilder, layoutfiler från prepressprogram
» **Styrprogram:** Vuteks RIP under Windows rastrerar postscriptfiler till skrivarens format.

Skärplottern

» **Modellbeteckning:** Wild/Leica TA 41
» **Tillverkare:** Zünd, Österrike
» **Bordets mått:** 1 200 × 1 270 mm
» **Media:** Vinylfolie i olika PMS-färger på 50 meters rulle
» **Upplösning:** 0,1 mm
» **Hastighet:** Kniven rör sig max 1 meter i sekunden med en acceleration på 10 m/s²
» **Indata:** vektorbilder
» **Styrprogram:** Drivrutin finns i många upplagor på Internet. Plottar från Windows, eventuellt med särskilt program för tillrättaläggande av skyltar.

» den lilla graververkstaden 3D-kristall i Blidö, ett av de få ställen i Sverige som har egen tredimensionell lasergravermaskin.

En laserstråle med tillräcklig effekt som fokuseras på en enda mikrometer-stor punkt inuti en glasbit har förmågan att förgasa glaset i denna punkt. Resultatet blir en vit prick inne i glaset, och styr man lasern ordentligt kan man bygga upp figurer och ytor av prickar som liknar tredimensionella föremål, människors ansikten, logotyper eller vad som helst. Lämpligt belysta blir sådana glaskristaller fantastiska konstföremål.

3D-kristall tar emot två sorters indata. Den enklaste är digitala figurer såsom logotyper eller enklare 3D-volymer ritade i Illustrator, AutoCAD eller andra vektorritprogram. Eller så kan man själv bidra med sitt eget ansikte framför en 3D-kamera.

Men oavsett hur indata kommer in, måste det justeras så att det blir rimligt för bränning i glas. Logotyper och enklare bilder kan extruderas, dras ut i tre dimensioner och vridas och vändas för att bli mera spännande.

Det är dock mycket manuellt arbete med data som tagits ur ”verkliga världen” innan bilden blir som man tänkt sig. Ansikten som fångas med 3D-kamera kommer att få olika artefakter, dels för att 3D-kameran missuppfattar avståndet till olika komplicerade detaljer såsom hårstrån och så vidare, dels för att vissa områden hamnar i skugga. För att förhindra att delar av hår eller ansikte dras ut till märkliga proportioner behövs en del manuell handpåläggning. Saknas det bildinformation för att något legat i skugga kan man interpolera fram det efteråt. Onödigt utstickande delar kan klippas bort eller normaliseras, dras ihop.

Kameran kostar bara hundra tusen!

3D-kameran InSpeck Megacapturer II SSLE kommer från InSpeck Inc. i USA, kostar uppåt 100 000 kronor och arbetar enligt principen att en lampa projicerar ett linjeraster på motivet, som kameran ser ur en något annan vinkel och kan skapa en 3D-bild med hjälp av de höjdkurvor som blir resultatet. Med vanligt vitt ljus tas också en vanlig 2D-färgbild som ligger till grund för den svartvita bild som till sist sveps eller ”målas” på den tredimensionella volymen. Bilderna som tas är 1 024 × 1 280. Med kameran följer också ett antal 2D- och 3D-hanteringsprogram som körs på en PC som ansluts till kameran med Firewire.

Utdata till lasergraveraren är helt vanliga DXF-filer som vi känner igen från AutoCAD.

Laserenheten CWLS-02 kommer från Champion Way Crystal i Shanghai där lasergravyr är vardagsmat. Den styrs av en PC i industriförpackning med Windows XP med vilken man kan hämta upp DXF:er och göra olika optiska och tekniska justeringar i laserutrustningen. Den gröna lasern pulsas omkring 200 gånger i sekunden i mikrosekundlånga pulser, medan strålen flyttas i glasblocket av två motordrivna speglar. Resultatet är ett punktraster på cirka 2 × 2 × 2 punkter per millimeter (13 DPI). En typisk figur, som N&K-loggan vi provade med, består av cirka 140 000 bildpunkter och tar kring 7 minuter att bränna. Längst ned i laserracken står ett 700 watts nätagg för motorer och de xenonrör som pumpar lasern. Intill står en annan, slangansluten låda med kylenhet som tar hand om kylvattnet till laserstaven.

Så var får man tag i de så snyggt polerade glasbitarna? Jo, de tillverkas av samma kinesiska firma. Högkvalitativt glas med högt blyinnehåll, samma sort som din mammas kristallvaser är gjorda av.

Men en bild säger mer än tusen ord. Och bilder vankas. På nästföljande sidor kan ni följa undertecknads nuna hela vägen till förevigandet i glas. Mycket nöje.

* * *

Ja, som ni ser har utmatning av data inte alls stått still, utan det löper genom samma utvecklingscykler som datormaskinvara eller programvara – även om gemene mans behov av avancerad utmatning inte tycks sträcka sig längre än till krav på allt snabbare grafikkort för datorspel och större bildskärmar.

Framtiden lovar dock mycket gott.

Utskrifter kan göras stora som hus, skärmarna kommer säkerligen att bli tredimensionella (bläddra till sista sidan om ni inte tror mig!) och mängden märkliga material man kan skriva ut på, både på ytan och inuti, bara ökar. Utskrifterna är inte längre bara tvådimensionella utan man kan idag skriva ut och bygga upp med plast och metall och i tre dimensioner.

Utmatning har gått från ett nödvändigt ont till en skön konst.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör, nätverksspecialist, teknikhistoriker, datorgrafiker och förevigad i glas med 89 187 punkter med 0,1 millimeters mellanrum. Du når honom på *jorgen@qedata.se*.

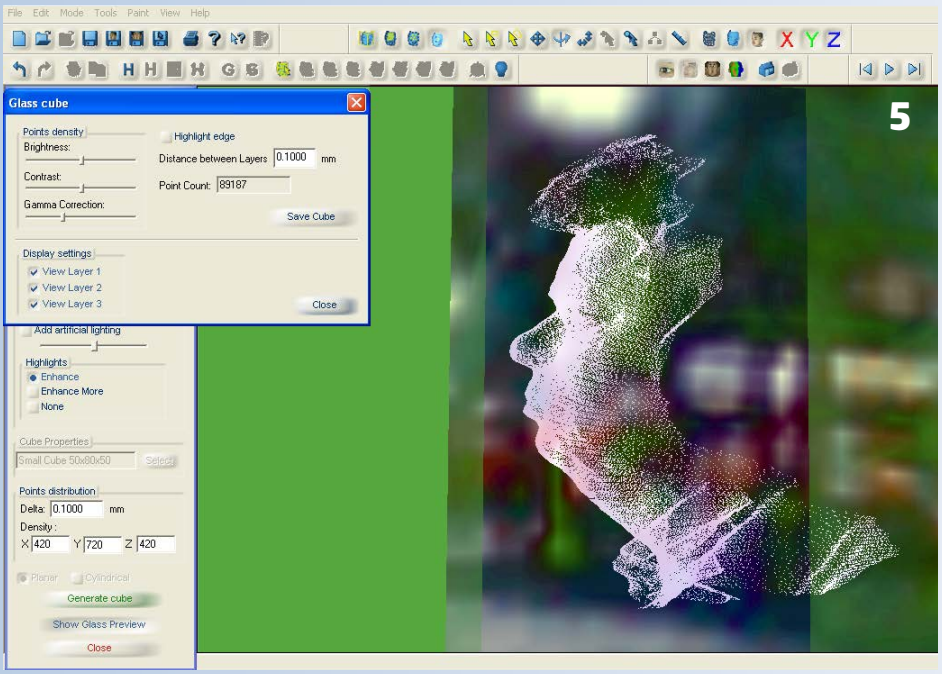
Så går du vidare

» Skyltfirman Inntech AB i Saltsjö-Boo: **www.inntech.se**.
» Banderollskrivarna tillverkas av Vutek, som finns på **www.vutek.com**.
» Skärplottern kommer från Zünd, som finns i Österrike på **www.zund.at**.
» Fräsplottern Multicam 48 plus finns på **www.multicam.com/eng**.
» 3D-kristall AB i Blidö: **www.3dkristall.se**.
» 3D-kameran finns hos **www.inspeck.com** om du väljer **Products » Megacapturor.**
» Champion Way Crystal och deras lasergravyrmaskiner hittar du på **www.championway.com.cn**.
» Läs mer om 3D-utskrifter på KTH i **Smarta 3D-skrivare står snart på våra skrivbord** i **N&K 8/2004**.

Läs vidare - följ skapandet av ett porträtt i kinesiskt glas

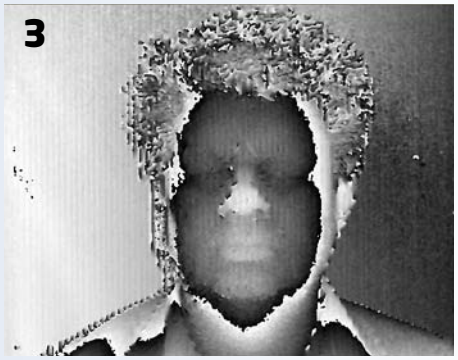
MITT LILLA FEJS OCH JAG

Vi börjar från början. När man ska avbilda ett ansikte i 3D får man börja med att fotografera det med en kamera som kan skapa en 3D-bild. Det kan InSpecks Megacapturer. Den har två ögon, varav det ena tar höjdkurvorna och det andra tar en vanlig färgbild av motivet, som senare viras runt 3D-volymen. Kamerans inbyggda belysning belyser motivet med ett linjeraster som används som konturkurvor vid avståndsbedömningen.

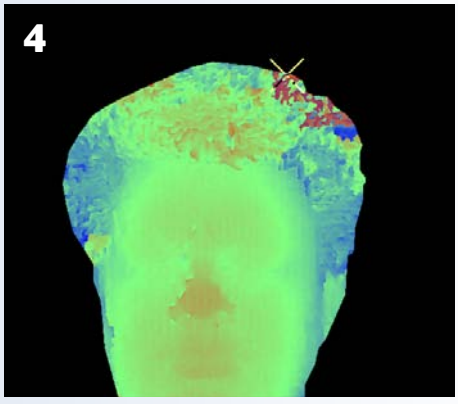


Vi fortsätter i programmet InSpeckEM och gör nu en simulation av hur glaskuben kommer att se ut i slutänden. Man kan vrida och vända på den och leta felaktigheter. Det går också att ställa gamma och kontrast i den slutliga kuben, vilket kommer att resultera i att lasern bränner svagare eller starkare punkter i glaset.

När bilden är fångad börjar man med att redigera den plana färgbildens så kallade **interest area**, det område som faktiskt ska användas för gråtoner i den slutliga 3D-bilen. Det går mest ut på att man tar bort skuggor och saker som inte hör till ansiktet, i programmet InSpeck FAPS.

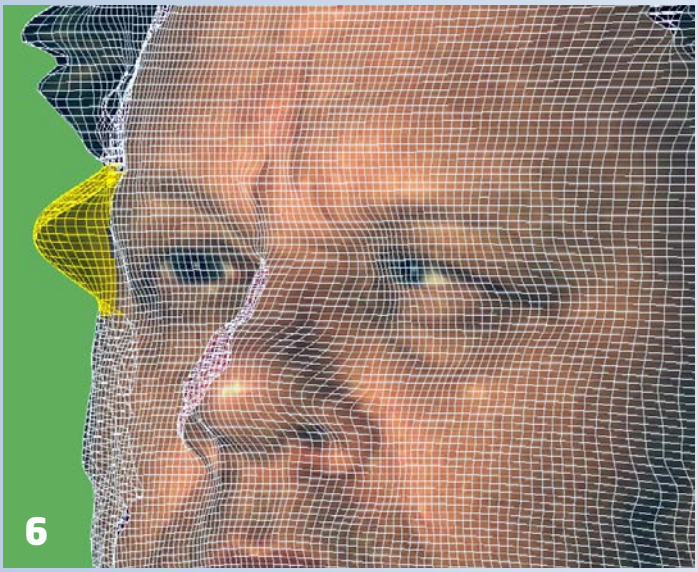


FAPS visar också de avstånd som kameran uppfattat, i form av gråtoner.

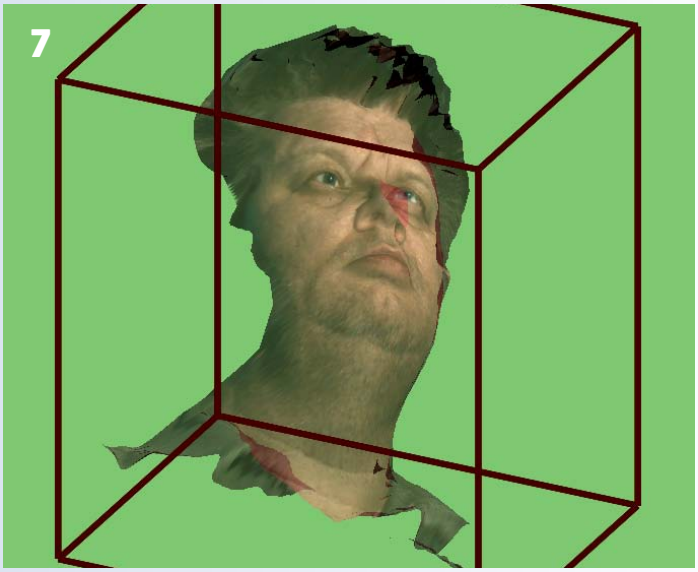


En del av avstånden är inte helt korrekta eftersom linjerastret inte riktigt framgår i håret. Det får håret att hänga ut framåt. Detta måste korrigeras manuellt genom att man markerar misstänkta områden och trycker dem inåt mot en "normal" med FAPS. Det kan bli en hel del handpåläggning i detta steg, vilket gör att kristallbilderna inte blir helt billiga.

MITT LILLA FEJS OCH JAG, FORTS.



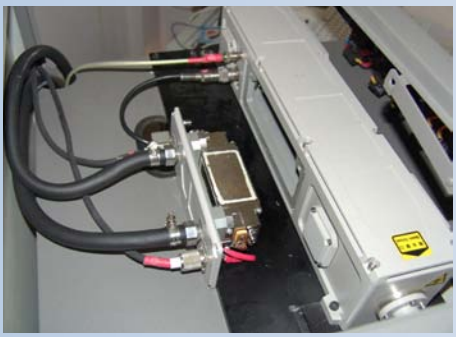
Man hittar en del dumheter, som till exempel att håret fortfarande sticker ut för långt framåt. Med InSpeck kan man markera en tredimensionell volym (gul) och släta ut den.



Till sist är man klar med alla utstickande delar och kan vrida och vända på den färdiga volymen. (Hmm, jag borde kanske ha rakat mig ...) Med eller utan skägg matas ansiktet ut som en DXF-fil och går vidare till lasergraveraren.

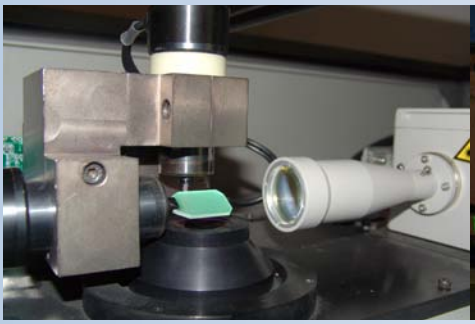
En riktig allemansbrännare är den här maskinen från CW Crystal i Kina. Man tar sitt USB-minne och sätter in i hålet framtill (**A**), väljer rätt DXF-fil i filsystemet på skärmen och väljer **BRÄNN.** Man kan efterjustera en del parametrar, som brännfrekvens (oftast 200 hertz), marginaler i glaset och så vidare, men i princip är handhavandet mycket enkelt.

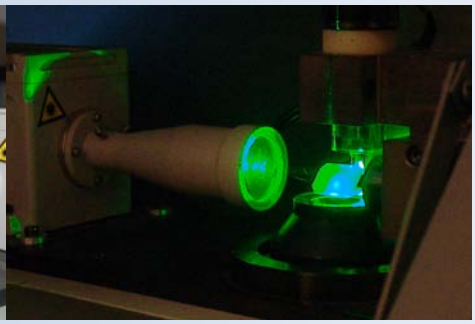
MITT LILLA FEJS OCH JAG, FORTS.



Själva lasern är en liten Nd:YAG-lasermodul med grönt ljus, som pumpas med ett xenonrör och kyls med vatten (därav slangarna till vänster). Under drift är den inskjuten i den lite större optikmodulen som innehåller yttre speglar.

Laserstrålen kommer ut ur det långa grå objektivet (nedan) och avlänkas nedåt av de båda X-Y-speglarna (på motorer). Tack vare de här speglarna kan strålen svepa genom hela glasblockets volym.





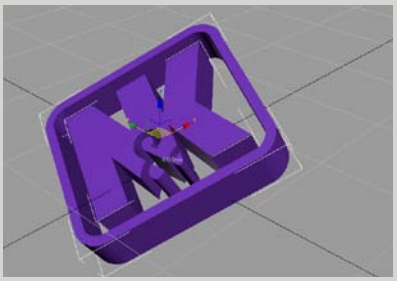
Härnäst ska man lägga in en lämplig glasbit. Den läggs löst ovanpå en platta som kan höjas och sänkas. Laserns fokus är fast i höjdled och flyttas i glaset genom att blocket rörs upp och ned.

Sedan går lasern igång och bränner. Här är det ett ansikte som håller på att växa fram (näsan uppåt, men vi har bara hunnit till öronen). Det ser ut som om det är flera strålar, men strålen pulsas egentligen i 200 hertz och kameran hade betydligt längre exponeringstid än så. Strålen vandrar i X- och Y-led, och plattan sänker sig hela tiden, lager för lager.

Och hur slutresultatet blev, ja, det såg ni på förstasidan.

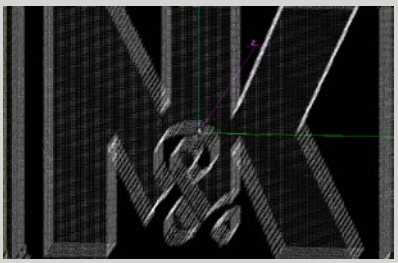
Vår lilla EPS

Antag istället att kunden kommer med en färdig EPS- eller Illustrator-fil av en logotyp och den bara ska snitsas till och göras lite tredimensionell (extruderas).



N&K-logon åker in i **Autodesk VIZ**, ett lättvikts-CAD-program från AutoCAD:s skapare. Vi drar ut bokstäverna lite i höjdled och gör sargen aningen högre.

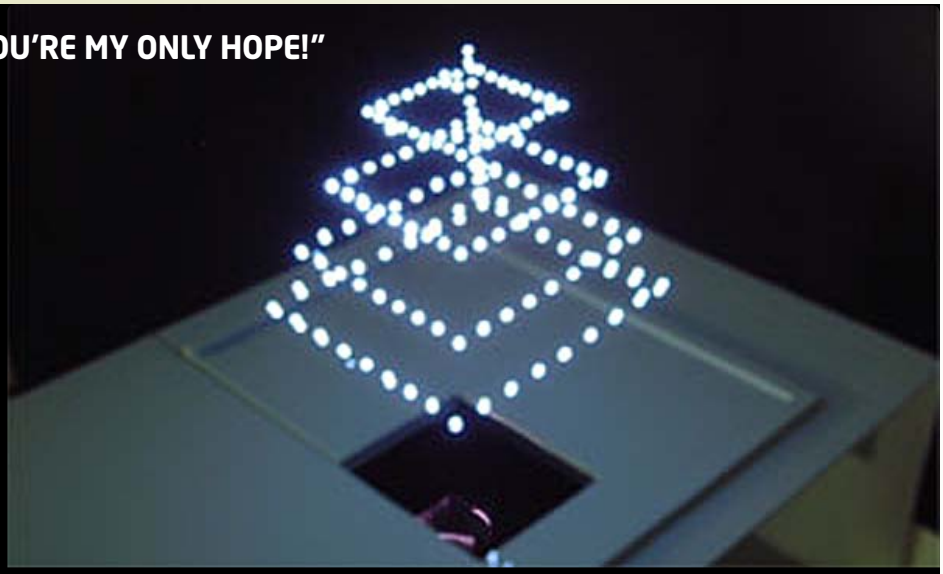
Med CW Crystals program **3D Crystal** kan man snabbt skapa en ungefärlig återgivning av den slutliga volymen och hitta eventuella felaktigheter.



Slutligen kan man rendera en punktvolym (139 444 punkter, faktiskt) som liknar den slutliga bränningen, för att se att den verkar snygg. Är man nöjd matar man ut en DXF-fil och för över till lasergraveraren.

TILL SIST: AVDELNINGEN UNDERLIGT

”HELP ME, OBI-WAN KENOBI! YOU’RE MY ONLY HOPE!”



Det verkar som om det äntligen blir verklighet: Snart kan vi få se prinsessan Leia hoppa fram mitt i luften på riktigt. Två japanska universitet och ett privat företag har samarbetat och har slutligen utvecklat en riktig, tredimensionell ”bildskärm” där bilden svävar mitt ute i luften som fria ljuspunkter, helt utan roterande halvgenomskinliga plastskivor eller annat stöd. Man kan gå runt bilden och titta från alla håll, och Star Wars-känslan är påtaglig.

Det har länge varit känt att om en tillräckligt stark laserstråle fokuseras till en tillräckligt liten punkt i luften blir fältstyrkan så hög att luftens elektriska motstånd bryts ned och gasen övergår till plasma.

Det är Nationella japanska institutet för ”Advanced Industrial Science and Technology”, Keio University och Burton Inc som nu slagit sig samman och byggt en apparat med en infraröd laser som pulsas 100 gånger i sekunden, vars relativt tjocka stråle avböjs av två rörliga spegelgalvanometrar och fokuseras mitt i luften. Pulsen är bara nanosekunder lång, men ögats minneseffekt räcker för att bilden ska se fast ut. Bilden kan dessutom skapas på flera meters avstånd från apparaturen.

Med 10 bilder per sekund blir det bara 10 punkter per bild. Inte mycket. Just nu, vill säga. Spegelgalvanometrar är inte världens snabbaste enheter. Men inget hindrar att man i ett senare skede kan pulsa lasern snabbare och ha flera speglar. Med teknik som MMD (micromirror devices) eller spegelarrayer som används i optiska routrar kan man köra betydligt fortare.

Du kan nog räkna med att folk som jobbar med kemi, 3D-konstruktion, medicinsk diagnos, mikroskopi och liknande kommer att ha jobbet flytande i luften framför sig inom en inte allt för avlägsen framtid. Läs mer på **www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2006/20060210/20060210.html**

En stentavla kan blästras med vilket mönster som helst genom en plottad gummimatris. Bokstäver eller figurer. Tecknens kanter blir knivskarpa.

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

Om apparater som skrev ut tredimensionella strukturer inuti glasbitar var hett år 2006 så är skrivare som skriver ut tredimensionella föremål i plast och metall hett nu. 3d-skrivarna spås en lysande framtid, både för utskrift av mikroskopiska medicinska implantat och för betongelement till bostadshus. Och allt där emellan, som till exempel metalldelar ombord på hangarfartyg och diverse verktyg ombord på Internationella rymdstationen. Ett framtida användningsområde kan vara att producera bostäder på månen av månbetong.

Andra reportage jag gjort kring extrema skrivare på senare tid har handlat om att skriva ut hela städer i miniatyr (http://tinytw.se/stockholm), eller om svenska Arcam som skriver ut medicinska implantat i metallen titan (http://tinytw.se/titan3d).

Tetra: digitalprat på radio

Kommersiella organisationers radiokommunikation håller på att förändras i grunden. Den nätverkskopplade, växlade digitala radion erbjuder fördelar som forna tiders ten-four-lastbilschaufförer knappt kunde drömma om.

Av Jörgen Städje

2708 till 2716, position frågas? Kom. Bruuus, rasp, sprak.

– 2716 till 2708, hörbarhet nolla, repetera. Kom. Knaster. Sprfztt.

Kommunikationsradio har länge varit ett äventyr som kommersiella radioanvändare inte har råd eller tid med, eller ens har kompetens att klara. Brist på radiokanaler eller otillförlitlig eller avlyssningsbar kommunikation kan vara direkt farligt, till exempel i Polisens arbete.

Som vanligt i myndighets-Sverige diskuteras allting så länge att tekniken nästan håller på att bli för gammal. SL hade länge tänkt införa digital radio i sina 2 000 bussar och hade bjudit in olika myndigheter att vara med om ett kompatibelt system, men det drog ut på tiden, så i början av 2003 införde SL Tetra alldeles själva.

Det är ETSI som har utvecklat Tetra-systemet (Terrestrial Trunked Radio), vilket närmast kan översättas med ”landmobil, växlad radio”, dels för att bättre utnyttja det ständigt minskande utrymmet på radiobanden, dels för att öka säkerheten i själva kommunikationen. Det ska inte längre vara tryck och hoppas, utan tryck och var säker på att du kommer fram.

Tetra-principen

Det mystiska ordet ”trunked” betyder att samtalen kopplas via en växel och att de kopplas om till den basstation som ligger närmast den anropade. Anropet kan alltså komma in från en buss i Södertälje, växlas via routern i Västra skogen och skickas ut till en basstation på Värmdö.

ETSI påbörjade arbetet med Tetra Release 1 (eller Tetra Voice plus Data (V+D)) år 1990, och 1995 låg standarden klar.

Egentligen är Tetra inget nytt, eftersom det i mångt och mycket liknar GSM. Ett Tetra-nät är uppbyggt av ett antal radiobasstationer sammankopplade med ett IP-nätverk. Varje basstation bildar en cell, och mobila enheter kan roama från cell till cell utan att samtalet bryts.

Precis som i GSM har varje cell en anropskanal på vilken den mobila enheten får reda på vilken talkanal den tilldelas. Minimum är 1+3, alltså en anropskanal och tre talkanaler, eftersom Tetra ersätter en gammal, analog 25-kilohertzkanal med 4 digitala kanaler, så fyra är minimum. Avsikten är att inte förändra den befintliga kanalplanen. Har man två 25 kilohertzkanaler får man 1+7, tre kanaler ger 1+11 och så vidare. Digitalkanalerna är uppbyggda enligt TDMA (multipel åtkomst genom tidsdelning) och består av fyra tidsluckor som ständigt roterar. Basstationerna är därför aldrig tysta, utan bärvåg ligger alltid ute. Sändareffekten ligger typiskt på 25 watt per 25-kilohertzkanal, även om den i gynnsamma fall, som till exempel på Kista Science Tower, kan dras ned till 10 watt.

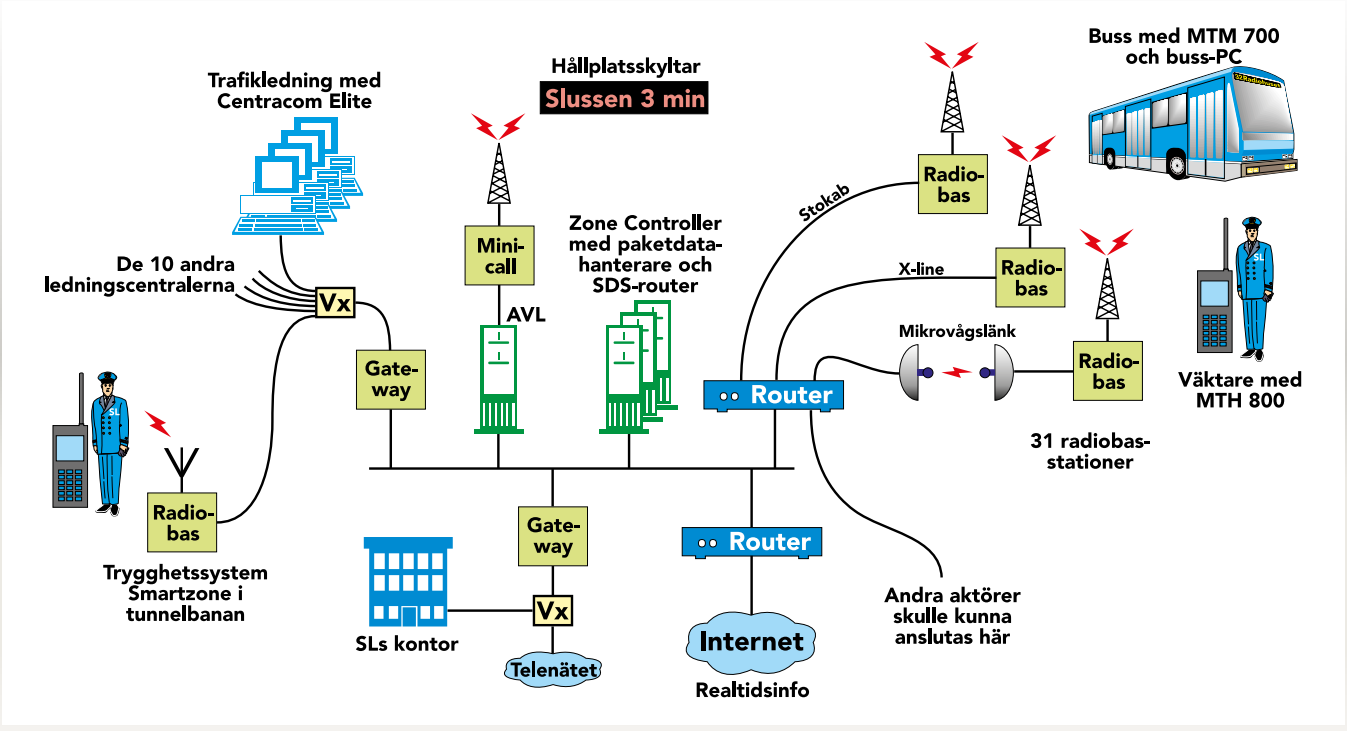
Ljudet är kraftigt komprimerat med en ACELP-codec (Algebraic Code Excited Linear Prediction) med en bandbredd på 4,8 kilobit/sekund, men kanalen kan lika gärna användas för digitaldata. SL använder den för att föra över bussens GPS-position, som senare ligger till grund för uppföljningssystemet AVL (Automatic Vehicle Location) och de ”levande” hållplatsskyltarna runt om i staden, samt de ”levande” busstider som man kan hämta över Internet.

SL har fått bandet 410–420 megahertz allokerat för Tetra, och kommer att uppleva allt

N&K tar bussen

Bussförarens arbete blir allt mer högteknologiskt. Förr vred man om startnyckeln och körde iväg – idag börjar man med att logga in i bussens PC, som i sin tur sköter hela inloggningen i Tetra-systemet. Skärmbilden är inte över sig komplicerad. SL var inte nöjda med Motorolas användargränssnitt utan skrev ett eget för sin buss-PC. Denna (A) sitter uppe under taket och sköter många funktioner i en modern buss. Den styr hållplatsskylten och matar ut syntetiskt tal till hållplatsannonseringen; dessutom har den GPS och rapporterar bussens position via Tetra-radion (B), vars gränssnitt den också tar över. Vid (C) sitter ett par kopplingsplintar, och (D) är ett spänningsaggregat.

Lokaltrafik i genomskärning



Det okända nätet. SL:s doldisnät är mycket omfattande. Beroende på var sändarstationen står används olika typer av WAN, mikrovågslänkar eller ledningar. Det är så nära IP-telefoni det går att komma. De analoga delarna är snarast en belastning och ska bytas ut snart. Systemet är i övrigt väldigt likt GSM-nätet.

mindre störningar när Polisen ger sig av därifrån, mot sitt nya blåljusband runt 380 megahertz.

Nätverkeri på lågvarv

31 radiobasstationer har SL utplacerade runt om i Södermanland och Uppland, och man måste ha IP-förbindelse med dem alla. I Stockholm är det Stokabs fibrer som får bära trafiken, medan man i ytterområdena använder egna mikrovågslänkar. Lite längre bort är det Telia X-line som får stå till tjänst. Men det är inga större datamängder det rör sig om: basuppsättningen 1+3 kanaler kräver inte mer än 64 kilobit data i sekunden.

Gruppsamtal für alle

En väsentlig del i infrastrukturen är hur radiosamtal kan kopplas upp och utföras. Tetrasystemet kan förmedla anrop på antingen en-till-en-basis, en-till-många eller många-till-många, och, för den med tillräckliga rättigheter, en-till-alla. De mobila enheterna delas in i så kallade talgrupper (ungefär som ett VPN på ett större nät) som i sin tur kan indelas i under-talgrupper, och så vidare. Ett anrop från någon i en talgrupp kommer att höras av alla i talgruppen om inte annat sägs.

En talgrupp kan till exempel vara en busslinje, så att om en förare anropar om en trafikstörning hör alla det – alla som är berörda, vill säga. En annan talgrupp kan vara väktarna. Om en väktare anropar hör alla väktare det, oavsett om den förste står på torget i Tensta och de andra finns i Stockholms tunnelbana.

Ett individsamtal kopplas upp med motstationens ”telefonnummer”, som på Tetra-språk kallas för ISSI (international short subsriber identity) eller individnummer. Stationerna har dessutom möjlighet att ringa ut på det vanliga telenätet, även om SL har begränsat den möjligheten till ett par fördefinierade nummer.

Så snart en förare gör ett anrop genom att trycka ned tangenten på mikrofonen får han reda på om det kommer att gå bra. Kontinuerlig spärrton anger att kanalen är full, medan tre tut är klarsignal. Man behöver alltså inte anropa och hoppas, utan det är på förhand känt om det kommer att fungera eller ej, det vill säga om man fått någon tidslucka. Uppkopplingstiden är dessutom under en halv sekund.

Ibland kanske man inte ens vill prata i radion, utan bara få ut ett meddelande som förarna eller väktarna kan läsa när de har tid. Tetrasystemet har en SMS-liknande tjänst kallad SDS (Short Data Service) som innebär att meddelanden på 140 tecken kan visas på alla de anropade förarnas bildskärmar och hamnar i inkorgen i de handhållna apparaterna.

Hos trafikledningen

Datorerna ger ytterligare möjligheter. Inkomna anrop till trafikledningen kan läggas på kö och tas om hand i tur och ordning, till skillnad från tidigare när kanalen redan var i bruk och man fick vänta. Ilsamtal kan prioriteras upp i kön och nödsamtal (rån, överfall) kan avbryta alla andra – lite som hos en flygledning har radiooperatörerna ansvar för var sin talgrupp och kan avgränsas till att bara hantera denna. Så jobbar SL till exempel i sin trygghetscentral, där två personer enbart sköter väktarna.

SL:s trafikledning använder Motorolas system Centracom Elite i sin kommunikation. Det är ett analogt system, med en analog talväxel

7 fördelar med Tetra jämfört med det analoga systemet

1) Radiokanalerna utnyttjas mycket effektivare än förut: fyra digitala kanaler på en gammal analog. Bredare kanaler för multimedia kommer.

2) Data kan sändas kontinuerligt, vilket möjliggör positionsbestämning.

3) Roaming över hela trafikområdet.

4) Bättre hantering av nödanrop, med positionsangivelse.

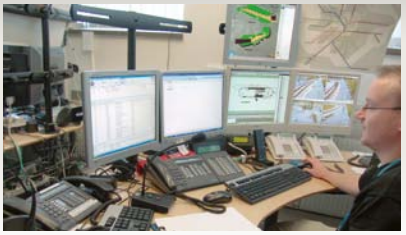
5) Möjligheten till 140 tecken långa SDS-textmeddelanden minskar trycket på förarna.

6) Lättare, enklare handapparater gör livet lättare för väktare.

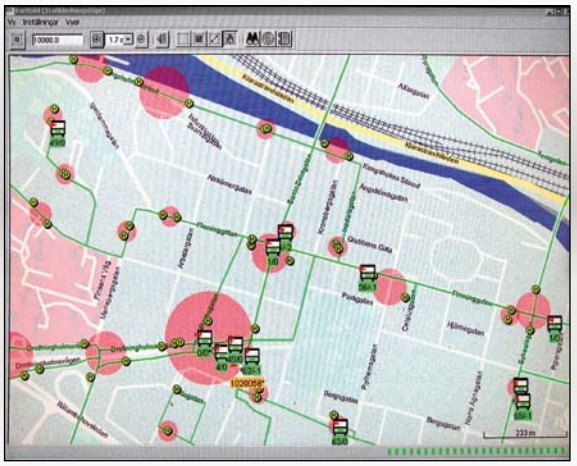
7) Möjlighet till sammanslagning med andra organisationers Tetra-nät i en krissituation, för redundans eller ökad räckvidd.

Hos trafikledningen

En av åtta. I ett operatörsrum vid Hornsberg sitter åtta operatörer och tar hand om hela södra Stockholms busstrafik. De har hand om var sin sektor och får anropa förarna om allt från luckor som lämnats öppna till hur man bootar om buss-PC:n.



Sann trivsel. Trygghetscentralen i rummet intill är knappfreakens himmelrike. Detta är sann trivsel. De två operatörerna ser efter SL:s 300 väktare.



Trafikledning. Kartbilden visar en del av Stockholms innerstad och är en del av trafikledningssystemet AVL. Den blir resultatet av bussarnas inrapporterade GSM-positioner, och man kan se var de är, var de borde vara, vart de är på väg, och om de är försenade eller för tidiga.

som ansluter till det digitala Tetra-systemets servrar (zone controller) via en gateway. Elva trafikledningscentraler är fördelade över trafikområdet, och alla är anslutna med hyrda analoga ledningar till den växel som står på kontoret i Västra Skogen. Den analoga apparaturen är dock på väg ut – först blir Trygghetscentralen, som får Motorolas nya heldigitala Vortex-system.

Hade olika radiosystem i norr och söder

SL har kört radio länge, men de tre gamla inkompatibla systemen höll på att göra livet olidligt. De användes i tre skilda delar av trafikområdet, och skulle en buss flyttas från norr till söder fick den först köras in på verkstad för att man var tvungen att byta radioanläggningen. Dessutom var det bara ett av systemen som kunde köa radiosamtal. Numera roamar man bekymmersfritt från Grisslehamn till Nynäshamn.

Väktarna hade handapparater av det tunga, grymma slaget. En av dem intygar hur tungradion kunde sinka en om man var tvungen att springa och dessutom kånkade på trekilos skyddsväst, batong, med mera. Den moderna Tetra-radion är lätt och automatisk, den klarar SDS och fungerar i stort sett som en mobiltelefon, men den har dessutom GPS så att Trygghetscentralen alltid har koll på var varje väktare är.

Mycket återstår att göra

ETSI ligger inte på latsidan utan har varit klara med Tetra release 2 sedan 2005. Genom att bredda kanalerna, alltså slutligen ge upp 25-kilohertzindelningen, kan Tetra Enhanced Data Service (TEDS) erbjuda mellan 11 och 538 kilobit/sekund med olika slags kvadraturamplitudmodulering, vilket öppnar för multimedia och QoS. SL ser ett flertal tillämpningar i framtiden, bland annat direktbilder från bussarna med bevakningskameror kopplade via Tetra till en bevakningscentral, men än så länge är inget beslutat.

På grund av att tidsdelningen (TDMA) sätter fasta gränser för hur länge en basstation kan vänta på data (den eländiga ljushastigheten) begränsas räckvidden hos Tetra 1 till 58 kilometer. Det fungerar dåligt för flygtrafik så i version 2 har man ökat detta till 83 kilometer. Andra fördelar är utbytbara codecar så att man till exempel ska kunna ha samtrafik med GSM-nätet utan att talet ska behöva korskodas med försämrad ljudkvalitet. En ny codec, MELPe, har också tillkommit för NATO-anpassning.

Om alla andra kan enas kan SL tänka sig att låta myndigheter som polis och brandkår använda deras nät i en krissituation. Det är ju trots allt en av fördelarna med standardiserade nät med standardiserade protokoll: att man kan dela på resurserna. Då kan Tetra förses med behörighetsnivåer och kryptering. Tetranäten arbetar som VPN som kan kopplas samman vid behov.

Men om Tetra nått ändhållplatsen vad gäller bussarna så har resan för tunnelbanan, tvärbanan, Lidingöbanan och Vaxholmsbolaget bara börjat. Väktarna talar Tetra i SL-trafiken men är under jord sammankopplade med det äldre analoga systemet. Det förs också diskussioner om att ersätta den föråldrade radion i tågen.

Digital radio och TV griper kring sig. Snart finns det inte en analog kanal kvar. En dag talar, tittar och skriver vi alla digitalt med GSM, 3G, DAB-radio, digital-TV, VoIP, Triple Play och Tetra.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör, nätverksspecialist, teknikhistoriker och datorgrafiker. Du når honom på *jorgen@qedata.se*.

Så går du vidare

» SL hittar du på **www.sl.se**, och realtidstjänsterna under **Realtidsinformation**.
» Motorolas Tetraprodukter är snårigt gömda. Gå till **motorola.com** och sök på "**tetra**".
» Djupteknik kring Tetra finns på forumet **www.tetramou.com** – diskussionsgrupper, standardblad, länksamlingar med mera.
» Sök på "**tetra**" även på **www.etsi.com**.
» Tetra-2-standarden diskuteras på **www.etsi.com/t%5Fnews/0106%5Ftetra2.htm**
» KBM snackar Rakel på **www.krisberedskapsmyndigheten.se/default_____176.aspx**
» **Länstrafiken i Helsingfors** införde positionsbestämning och elektroniska skyltar redan 1999. **Läs mer i "Utan en tråd i Helsingfors" i N&K 15/1999.**

Rakel Spektakel och Kusin Räddningstjänst

Efter mycket långa diskussioner har Polisen äntligen börjat flytta bort från sina system-80-kanaler på 410–412 MHz och börjat inta området kring 380 MHz med systemet **Rakel** (Radiokommunikation för effektiv ledning) som är Polisens namn på Tetra-systemet. Så här har det låtit i många år: *"...tillsattes en arbetsgrupp vid försvarsdepartementet för att utreda frågan. Och i propositionen ... som lämnades till riksdagen ..."* bla bla. Man får förstå att SL, som bara ville ha ett system igång, tröttnade på att vänta.

Rakel sniglar sig långsamt in över landet med början i Skåne och kanske ser vi det i allmänt bruk hos blåljusmyndigheter, tull och kriminalvård 2007, kanske 2008. Det har varit typiskt statliga upphandlingsproblem som gjort att polisen ännu ett tag tvingas avslöja sina hemligheter för glada avlyssnare med skanner. Men alla skannerfantaster, bovar och journalister blir snart blåsta på det lilla nöjet.

Tetra ger dig eget digitalt radionät

Känns det som att gsm-nätet inte räcker till för företagets kommunikation? Vill du ha in flera funktioner, som kryptering och handterminaler? Behöver du prioriterade nödanrop? Då är det Tetra du ska ha. Vi går igenom hur du bygger ditt eget radionät. **Text och grafik: Jörgen Städje**

Radionätverk byggs ut som aldrig förr. Kommuner och industrier behöver säkrare radiokommunikation med sina servicebilar, väktare, skadereglerare, transporter, sophämtning, reparatörer med flera. Radionätet kan användas för ordergivning, avrapportering, databassökningar, ja ungefär allt man kan tänka sig att en mobil enhet behöver göra.

Det största digitala radionätet i Sverige är Kustbevakningens Rakel-nät, som är brontosauriskt. Rakel-radion (bara ett svenskt namn för Tetra) ska användas av blåljusmyndigheterna och kommunerna och erbjuder redan en färdig infrastruktur i form av ett ip-nätverk som alla medlemmar kan ansluta till med handterminaler och börja kommunicera. Men om du inte är så lyckligt lottad att du får vara på Rakel, vilket privata företag inte får, får du skaffa ett eget nät.

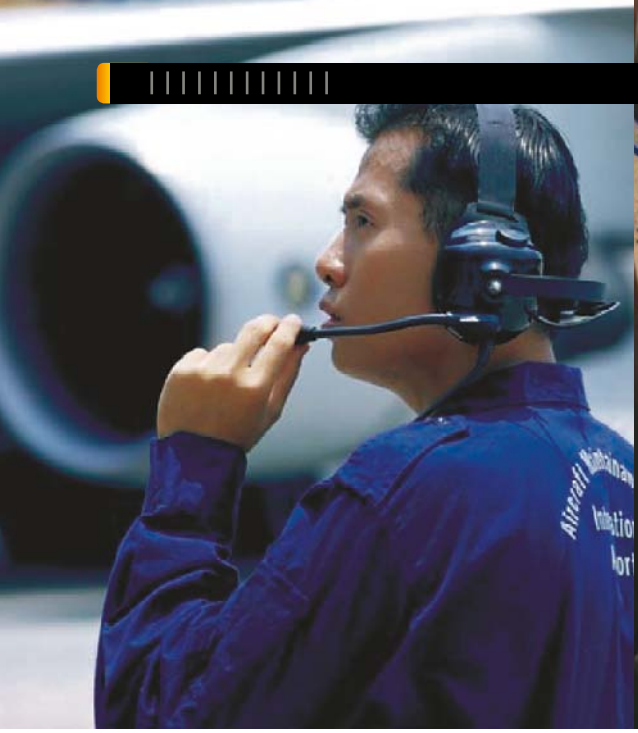
Vi ska här visa hur man bygger upp ett mindre nät för till exempel en mindre kommun eller ett företag som vill öka medarbetarnas mobilitet, minska pappersflödet och samtidigt vara i ständig kontakt och alltid veta var den enskilde befinner sig.

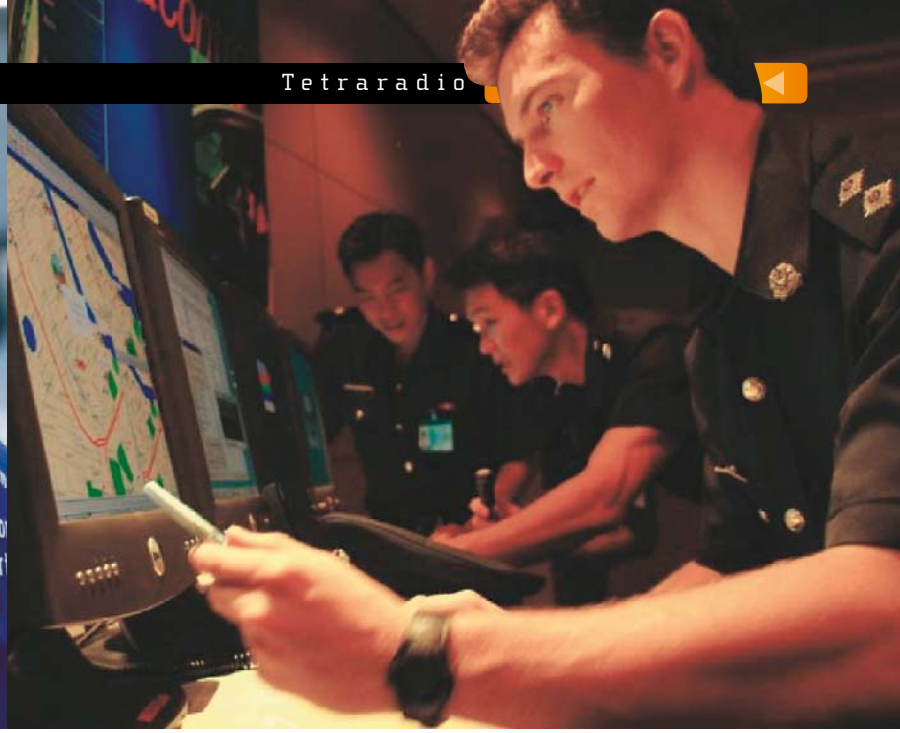
> ”Tetra är ett öppet radiosystem. Du kan aldrig bli låst till en enda leverantör.”

Vad är Tetra?

Terrestrial trunked radio, eller växlad landmobil radio, är simplex- eller duplexradio som framförs på ett av flera dedicerade band mellan 350 och 450 megahertz. Handenheterna ser ut och fungerar som walkie-talkies men det som sänds är helt digitalt. Systemet har mycket gemensamt med gsm-nätet, eftersom man använder roterade tidsluckor enligt tdma-principen och kan pressa in fyra talkanaler på en gammaldags 25 kilohertz analog kanal.

Det börjar bli ont om radiospektrum och Tetra är ett elegant sätt att spara bandbredd. Andra likheter med gsm-systemet är att Tetra är cellbaserat med automatisk roaming mellan celler. Med de analoga kommunikationssystemen var det





viktigt att veta vilken kanal man skulle sända på – i Tetra kan man glömma det eftersom systemet delar ut tidsluckor automatiskt och roamar när så behövs.

Växlar och switchar

Någonstans i systemet finns en eller flera växlar (samtalsväxlar) som kopplar samman olika radiosamtal med varandra. Notera att det inte rör sig om ethernetswitchar, utan mera en form av routing. Växeln kan till exempel vara ett program i basstationerna.

Växelfunktion i basstationen kan ha sina fördelar, särskilt om infrastrukturen klappar ihop. Då kan varje nod fortsätta fungera individuellt. De olika växlarna kommunicerar förstås när ett samtal ska lämnas över från en cell till nästa.

Ett bra exempel på att man kan göra det själv är SL, Storstockholms Lokaltrafik, som tröttnade på att vänta på Rakelnätet och byggde sitt eget. Det sträcker sig över tre län och är lite i största laget för våra behov. Med sina 29 basstationer täcker det en bra bit av Mellansverige.

Infrastruktur till salu

Sverige är ett land fullt av infrastruktur. Man behöver inte dra kabel själv numera, vi räknar kallt med att man kan köpa den svartfiber man behöver för anslutningen till basstationerna. Det finns dessutom redan tämligen gott om vattentorn och radiomaster överallt för att tillfredsställa alla behov.

Hur mycket handterminal behövs? Ska man bara kryssa i en att-göra-lista behövs säkerligen inte Windows och färgskärm, utan man kan tänka sig en enklare terminal. Microbus Linx är visserligen trevlig och möjliggör fotografering och allt man kan önska sig av en bärbar Windowsapparat, men batteriet räcker bara tio minuter. För en sjukvårdare som ska in till en patient och behöver slå upp recept och sjukhistoria under besöket duger det inte, men eftersom Tetra är en helt öppen standard står det var och en fritt att välja just den handterminal man vill ha.

Slå ett slag för det pappers-lösa samhället och bygg upp elektroniska formulär som användarna kan fylla i direkt på terminalen. I andra änden kan du ansluta en databas av valfri typ. Bortslarvade arbetsorder är ett minne blott.

Startpaket med antenner

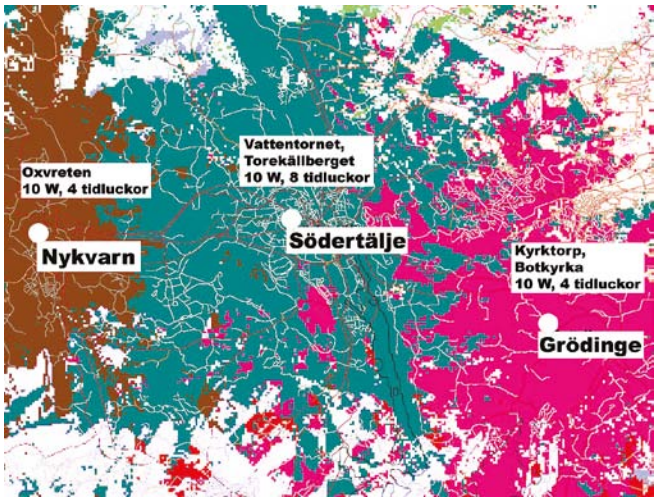
Alla Tetraleverantörer har någon form av instegsutrustning som i princip består av en basstation och några antenner, en rulle koaxkabel och en trafikledningsterminal, normalt en pc med kommunikationsprogram. Det brukar ge fyra tidsluckor, varav en är reserverad som anropstidslucka. Tre tidsluckor räcker för en mindre industri eller småkommun, men det fina är

Spindeln i nätet. Trafikledaren använder sin konsol, här Motorolas MCC 7500, för att lyssna på all kommunikation, dela ut order, ta emot data och bygga och fördela talgrupper. Systemet kan byggas ut med flera konsoler och gatewayar mot telenätet.

8 bra skäl att välja Tetra

- **Tetra är ett modernt radiosystem,** standardiserat och fritt utbyggbart över vanliga ip-nät.
- **Standarden är öppen,** varför man aldrig kan låsas till en enda tillverkare.
- **Nätet är helt digitalt** och lämpar sig därför för dataöverföring.
- **Automatisk routing** mellan celler sparar bandbredd.
- **Den automatiska routingen eliminerar** allt tänkande på kanaler och täckningsområden.
- **Skulle infrastrukturen gå ner** kan en cell fortfarande erbjuda kommunikation.
- **Bra nödfunktioner.**
- **Stulna handterminaler** kan uteslutas och "dödas".

På språng. Den mobila arbetaren som behöver ha kontoret med sig kan prova en Linx från Microbus. Den gör allt som en vanlig bärbar ska göra, plus att den har "rädda-mig-knapp" och kamera för dokumentering av situationen.

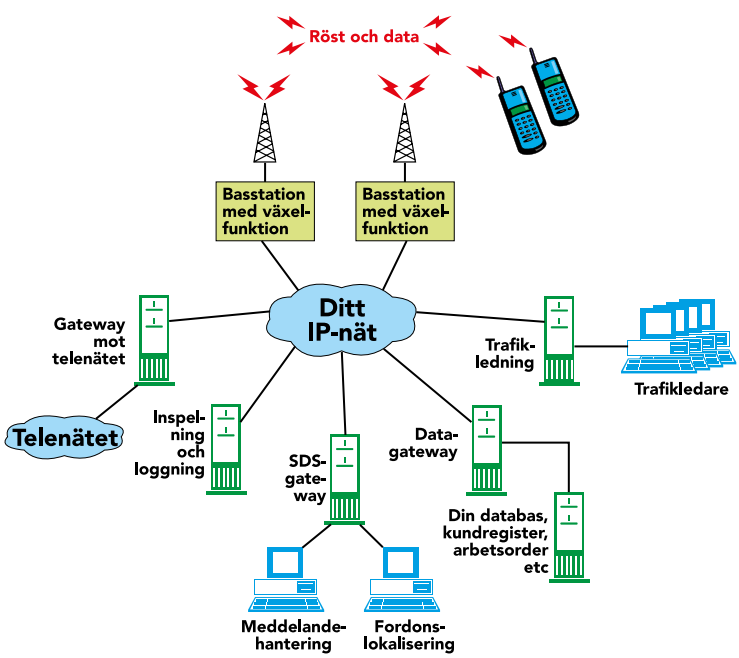


Full täckning. SL täcker Södertälje och två intilliggande orter med bara tre basstationer på tio watt. Endast mitt i staden behövde man ta till åtta tidsluckor. Du ser att cellerna överlappar varandra på sina ställen. I ett analogt system hade det blivit ett oändligt manuellt cellbytande (välj mellan högre uteffekt eller radioskugga). Tetra ordnar det automatiskt. Karta: SL.

MTC 100 från Motorola är allt man behöver för att kunna titta på övervakningskameror med mera.

att systemet är oändligt utbyggbart, utan att du behöver byta ut instegsutrustningen.

För övrigt finns det mängder av leverantörer av kompatibel utrustning. Du kan köpa basstationer från en handfull leverantörer, och antenner finns i alla former och färger och tillverkas med fördel i flera nordiska länder. Handterminaler finns i allt från små osynliga handhållna varianter till slagtåliga bestar som tål att köras över med bil.



Enkla idéer ger enkel topologi. Som synes blir det en hel massa servrar för olika funktioner. Det är inte uteslutet att man kan köpa en enda serverfunktion som innehåller alla dessa tjänster. Eller också kan man skyffla in alla serverfunktioner i en enda, virtualiserad miljö.

Eftersom systemet konstruerades för polismyndigheten väger säkerheten tungt. Kryptering är given, liksom fullständiga möjligheter till loggning av alla händelser. Rakelnätet har fått kritik för bristande funktion, men det visade sig vara nätverksproblem i Malmö som journalisterna hakade upp sig på. Polisen i exempelvis Västerås har bara gott att säga.

Synkroniseras med gps

Tidsluckorna i de olika cellerna synkroniseras med gps och terrorister kan störa gps-signalen. Då tappar man synkroniseringen mellan basstationerna så att roaming förhindras. Men det går fortfarande att kommunicera. Om du inte tror att terroristerna vill störa dina matleveranser eller reparation av vattenkranar är det förmodligen inget att bry sig om.

Dra kabel, ja. Se till att skaffa redundanta förbindelser till dina basstationer. Polisen upplevde vid flera tillfällen hur man blev av med all kommunikation för att en grävskopa grävt av den analoga telefonledningen till en radiobas. Med ip-nät är redundans en ren bagatell och du behöver aldrig mer oroa dig för grävskopor.

Självmordskommandot

Tetraterminalen kan ges ett så kallat Kill Pill. Om en terminal tappas bort eller blir stulen kan den uteslutas från nätet. Om man anser att man inte kommer att få tillbaka den, sänder man ett kommando om självmord, varefter terminalen aldrig mer kan startas.

En av de stora fördelarna med Tetra är att det är slutlyssnat för scannerungdomarna. Det enda sättet att vara med och lyssna är att stjäla en terminal, men eftersom den måste identifiera sig på nätet utesluts den automatiskt.

Tetra specificerades av standardiseringsorganet Etsi som ett direkt krav från de brittiska,

"Redundans är en bagatell – du behöver aldrig mer oroa dig för grävskopor."

Basstation. Större behöver den inte vara. Damms BS421 är en enkanalsbasstation som bygger 333 millimeter i höjd, kan monteras i mast och tål ned till 25 minusgrader.

Skarpt läge. De som arbetar i farliga situationer kan dra nytta av alla de olika typer av Tetraterminaler som finns – slagtåliga, värmetåliga, explosionssäkra med mera.

Vilka kan dra nytta av ett digitalt radionät?

» **Hemsjukvårdare** som behöver slå upp patientdata och recept över säkrad överföring.
» **Ambulanssjukvårdare** som behöver överföra telemetri på väg till sjukhuset.
» **Väktare** som behöver vardags- och nödkommunikation med positionsbestämning, som kan behöva titta på CCTV-kameror för att vara uppdaterade direkt när de kommer till platsen.
» **Transportföretag** som vill slimma logistiken.
» **Buss- och järnvägsbolag** som behöver säker, spårbar kommunikation med loggning.
» **Reparatörer** som ska pricka av arbetsorder, beställa detaljer.
» **Skadereglerare** eller annan undersökningspersonal som ska undersöka, fotografera och dokumentera.
» **El, vatten, avlopp** och liknande funktioner där man behöver löpande avrapportering.
» **Rapportpersonal** av varje slag som ska föra in uppgifter i en databas.

Redo. Vi lider inte direkt brist på master i Sverige. Att bara sätta upp en antenn till är ingen större kostnad.

belgiska och nederländska polismyndigheterna, alldeles efter att Schengenavtalet trädde i kraft. De olika myndigheterna ville ha möjlighet att jaga bovar in i det andra landet utan att tappa radioförbindelsen.

Högre bandbredd ger mer

Etsi har inte suttit och nickat till efter den första succén utan är numera klara med nästa version av Tetra som kallas Teds, Tetra extended data services. Kan man släppa till bredare radiokanaler kan Teds erbjuda realtidsvideo. Det ger till exempel en väktare möjlighet att titta på bevakningskamerorna långt innan han eller hon har hunnit fram till brottsplatsen. Och så vidare.

Med mycket extraarbete kan man förmodligen lösa åtminstone vissa av dessa uppgifter med gsm eller 3g-telefoni och handdatorer anpassade för dessa nät, men kostnaderna kan mycket snabbt raka i höjden. Mobiloperatörerna ägnar sig inte åt välgörenhet.

Se i stället Tetranätet som ett sätt att eliminera alla mobiltelefonkostnader och erbjuda alla anställda fullständig kommunikation hela arbetsdagen. Behövs ändå kommunikation mot telenätet kan Tetranätet bära den också i form av voip-trafik. En fördel att arbeta så är att man kan begränsa de utgående numren till sådana som behövs för arbetet.

Framtiden är digital. Ingen kommer undan. Lås inte in dig, utan bygg med öppna standarder. Bygg eget så slipper du betala till de profithungriga. Med Tetra hamnar du aldrig i ett hörn.

Jörgen Städje är elektronikkonstruktör. Han bloggar på techworld.se/jorgen och nås på jorgen.stadje@techworld.se.

Så går du vidare

» Swedish Radio Supply återförsäljer system för Tetranät: **www.srsab.se**
» Motorola är en annan stor leverantör av Tetraprodukter: **www.motorola.se**
» Sepura, engelsk tillverkare av terminaler: **sepura.com**
» Damm säljer infrastruktur för Tetra, basstationer och mindre system: **www.damm.dk**
» Frequentis, infrastruktur för riktigt stor yttäckning: **www.frequentis.com/Internet/PublicSafety/PublicSafety**
» Eads levererade Rakelnätet: **www.eads.se**, **www.eads.com**

ATT TETRA ELLER INTE TETRA?

Tetraradion, som av svenska myndigheter döpts om till Rakel, har fått en dålig start i Sverige, medan andra, som Storstockholms Lokaltrafik är nöjda. Men behövs Tetra? Det är trots allt en högprislösning. Kan inte blåljusmyndigheterna använda sig av mobilnäten, som alla andra. Bara de får lämplig prioritet i näten?

När polisens och brandkårens analoga nät lades ned, valde man att gå vidare med paketkopplad radio, alltså en digitalt modulerad radioform som kunde kopplas via ett ip-nät på marken. Ingen har väl tvivlat på att det var rätt att lägga ned de analoga näten, men var övergången till Tetra så välbetänkt? Kunde man inte använda mobiltelefonnäten istället?

För att få svar på det gick vi på mässan Critical Communicaitons World i Paris här förliden, för att hitta någon vi kunde överhopa med knepiga frågor.

Det visar sig att Tetra har en hel rad egenskaper som mobilnäten inte erbjuder, och då inte bara i form av handterminaler som tål att kastas i backen och dränkas i vatten, utan även trafiktekniska fördelar. Men tetraterminaler utvecklas inte i samma takt som mobiltelefonerna, där det kommer en ny variant månaden, nästan. Man kan fråga sig om inte Tetra med sina specialterminaler är förbisprunget av mobilnäten? Frågan som många ställt sig är: Varför ska blåljusmyndigheterna ha ett eget, dyrbart radionät, när de lika väl hade kunnat använda mobilnäten? Mobilnätens geografiska täckning är svår att konkurrera med och ska man bygga något liknande en gång till kommer det att bli väldigt dyrt.

Tetrasidan hävdar emellertid att de kommersiella näten inte är tillräckligt säkra i en katastrofsituation. Kapaciteten och robustheten räcker inte för både privat bruk och myndighetsbruk i en nödsituation. Så hur är det?

Undertecknad minns en intervju med Västeråspolisen som belyste problemet i liten skala (vi ska belysa det i större skala, senare). De hade provat att använda 3g-telefoner och hade givit upp: ”Folk stannar upp vid en olycka och börjar prata i telefon. Mobilnätet blir snart överbelastat eftersom det inte är beräknat för sådan trafiktäthet. När polisen ska börja arbeta får vi spärrton och kan inte kommunicera.” Därför provade man Tetra och hade detta att säga: ”Vi har provat så mycket vi kunnat, att överbelasta nätet, men inte lyckats.” Jag antar att det säger allt. Eller gör det det?

Tetrautrustad polisbild, med sladdar högt och lågt. Specialutrustade fordon är det populäraste utställningsobjektet på säkerhetsmässor. Bild: Audrone Vodzinskaite.

Det svenska rikstäckande tetranätet Rakel har fått en dålig start. Inte ur teknisk synvinkel, men införandet har kantats av en hel rad politiska komockor. Det har varit bråk om anslutningskostnader och tveksamheter om vilka myndigheter som egentligen ska vara med och betala kalaset. Detta har trollats och debatterats friskt på andra platser och vi ska inte ta upp det igen. Vi saxar istället ur tidningen Tetra Today 14/2013, ur en artikel om att MSB har anlitat Cassidian i ett underhållskontrakt för Rakel. ”Rakelnätet är ett av världens största tetranät. Det har 1800 basstationer och 22 växelstationer och täcker nästan hela den svenska befolkningen. Förra månaden hanterade Rakel fler än 3,3 miljoner samtal och 166 miljoner Short Data Services-meddelanden (ungefär detsamma som SMS) och höll en genomsnittlig tillgänglighet på 99,97 procent. Nätet betjänar alla större säkerhetstjänster i Sverige, som polisen, kustbevakningen, tullen, ambulanstjänster, försvaret, samt kommuner och privatföretag som el- och vattenleverantörer. Nätet har fler än 50.000 abonnenter och siffran förväntas stiga till 70.000 inom ett par år.”

Bara det faktum att myndigheterna i fler än 125 länder skaffat tetraradio för över 3 miljoner användare är ett bevis så gott som något på att ett nät avskiljt från de kommersiella näten behövs.

””Trunked’ betyder att flera radiosändare kan dela samma resurser och bara tar upp resurser på bandet när någon talar.”

VAD ÄR TETRA?

TETRA betyder TErrestrial TRunked RAdio, eller landmobil paketkopplad radio. Alla liknande tjänster går under beteckningen LMR, landmobil radio. Tetra utnyttjar digital modulation med fasskiftsnyckling av typen DQPSK med åtkomst till radiomediet enligt Time Division Multiple Access (TDMA). Systemet använder 25 kHz kanaldelning och på varje kanal används ett roterande schema med fyra tidluckor (kontra t ex GSM som använder åtta tidluckor).

Bild: Audrone Vodzinskaite

”Trunked” betyder att flera radiosändare kan dela samma resurser och bara tar upp resurser på bandet när någon talar. I Sverige används frekvensbandet 380-395 MHz för Rakel, medan privata operatörer med egna tetranät använder band kring 450 MHz. Halva utrymmet används för upplänk och halva för nedlänk. 25 kilohertz duger bra för tal men ger inte mycket bandbredd för dataöverföring. Det landar kring 28,8 kbps som mest och det räcker inte till för bilder och film.

Textmeddelanden i stil med sms kallas sds (Short Data Service) kan också överföras.

TEDS

Tetrastandarden Tetra release 2 innehåller TETRA Enhanced Data Service, som är en dellösning på problemet med den långsamma dataöverföringen. TEDS nyttjar kanaldelningar på 50-150 kHz på de vanliga tetrafrekvenserna kring 300 MHz och sänder med QAM-modulation med QAM 4, 16 eller 64 beroende på bitfelfrekvensen på kanalen, men det gäller att få loss detta spektrum i ett i övrigt knökfullt radiospektrum.

UNIFIED TETRA AND LTE

De kanske 100 kbps som TEDS ger på en 50 kHz bred kanal, räcker fortfarande inte för video. Video håller på att bli allt viktigare vid brottsplatsundersökningar och för att få ut information snabbt till polismännen vid svåra olyckor. Man tvingas fortfarande ha en mobiltelefon för att titta på film och en tetraradio för sambandet. Andra tillämpningar kan vara övervakningsfilm från övervakningskameror, film från en helikopter, styrning av bombrobotar och röntgenbilder från dito, EKG från en patient och liknande.

Svaret på det är Tetra integrerat med lte. I det fortsatta kommer jag att kalla de kommersiella näten för 2g, 3g eller 4g beroende på teknik, medan förkortningen LTE reserveras för tetratekniken. Tetrafolket brottas för närvarande på att frigöra 20 MHz spektrum kring 700 MHz över hela världen för snabb dataöverföring enligt lte-principen. De flesta tycks hamna just kring 700 MHz, utom Kina som verkar hamna kring 1400 MHz. Kan man inte ordna ett harmoniserat spektrum kommer det att bli svårt med gränsöverskridande operationer och resultatet kan bli fördyrade terminaler på grund av att specialiserade kretsfamiljer krävs.

Vän av ordning frågar sig varför man inte kan använda de vanliga tetra-tal-frekvenserna kring 300 MHz för lte? Eftersom antennerna skulle bli för stora. För lte använder man rumsdiversitet med två antenner i handapparaten och vid 300 MHz är vågländen så lång att apparaten skulle bli orimligt stor.

Lte kommer att bli en storstadslösning, medan TEDS sannolikt kommer att härska på landsbygden eftersom det kan förväntas bli den ekonomiskt optimala lösningen. Den lägre frekvensen och smalare bandbredden hos TEDS gör att räckvidden blir mycket bättre än för lte och täckningen således bättre.

När Tetra är utbyggt med lte kommer myndigheterna att ha möjligheter i stil med en nyhetsbyrå. En polispatrull kan delta i en telekonferens med bild, se rörlig video direkt från en helikopter, eller överföra en skadad

persons ekg direkt till en läkare. Ledningscentralen kan se direktvideo från en cctv-kamera från exempelvis ett inbrott och skicka ritningar på huset där brottet just pågår, till den polispatrull som är närmast. Bombtekniker växer förmodligen inte på träd, utan när en bomb påträffas kan en bombrobot med röntgenmöjlighet skickas ut för en förberedande undersökning och skicka tillbaka röntgenbilder till teknikern. Även den som kör roboten kan behöva tillgång till husritningar.

SPECIALUTRUSTNING TACK VARE STANDARD

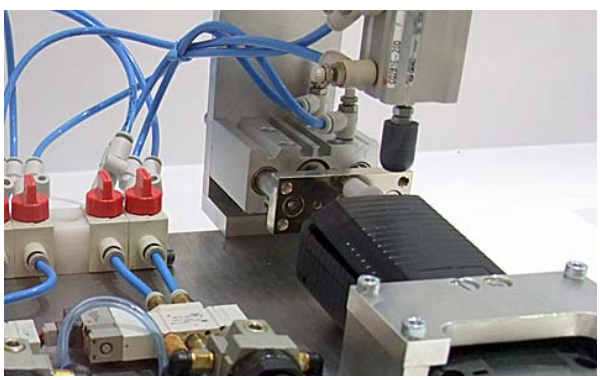
Tetra är en öppen etsi-standard. Därför finns det många leverantörer, men få man känner igen från mobiltelefonbranschen, utom måhända Motorola. Motorola var ganska starka på marknaden för kommersiella mobiltelefoner, men sålde sin mobiltelefonportfölj till Google och ägnar sig nu helt åt verksamhetskritisk kommunikation.

Bland tetratillverkarna finner vi i övrigt namn som Zethron, Thales, Sepura, Cassidian och Kenwood (som också tillverkar mycket amatörradio).

Tetra-apparaterna är avsedda för tuffa miljöer och ska tåla det mesta. Precis som när Varudeklarationsnämnden började med att välta stolar 10.000 gånger, måste tillverkarna prova och verifiera att apparaterna tål slitage långt bortom det man kan tänkas utsätta en mobiltelefon för.

”Antennen sticker ut från apparaten och ska tåla att krökas och böjas tiotusen gånger. Det testar Motorola med en böjarrobot.”

Antennen sticker ut från apparaten och ska tåla att krökas och böjas tiotusen gånger. Det testar Motorola med en böjarrobot. Anledningen till att antennen sticker ut är att våglängden är en meter, jämfört med ett par decimeter för en mobiltelefon. Dessutom ger en utstickande antenn betydligt bättre verkningsgrad och därmed bättre räckvidd än om antennen skulle krökts ihop och dolts inuti apparathöljet.



Batteriluckan ska kunna öppnas och stängas tiotusentals gånger. Det testas av en annan pneumatisk robot.

Dessutom finns det företag som specialiserat sig på underlig extrautrustning, särskilt hörlurar och mikrofoner för hemliga operationer, för killar med mörka glasögon som står och mumlar i ett hörn.

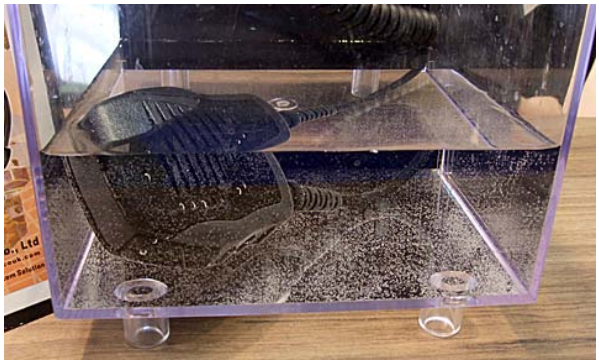


Bild: Audrone Vodzinskaite.

Utrustningen vore värdelös för brandförsvaret och Kustbevakningen om den inte tålde vatten. Här är ett företag som visar dränkbara apparater.

Bild: Audrone Vodzinskaite

Och så har vi de militära tillämpningarna. Hårdgjord utrustning som ska klara allt från vassa stenar till lera och arga rekryter som kastar den i backen. Här har mobiltelefonerna inte en chans.

LIKHETER OCH OLIKHETER

Vi gick på Svend Frandsen, som är chefsarkitekt på Motorola Solutions i Danmark och bad honom försvara bruket av Tetra.

– Det går inte att använda kommersiella nätverk för verksamhetskritiska uppgifter. Ett exempel är Texas (se mera nedan). Efter en tornado var mobilnätet mer eller mindre borta. När räddningstjänsten kom, fick man börja med att upprätta det nätverk som faktiskt fanns kvar. Det blev i det fallet ett systersystem som kallas P25, som delar grundläggande infrastruktur med Motorolas implementation av Tetra, även om modulationstyperna är olika. (Det fanns allt för många radiosystem i Texas vid den tiden.)

Bild: Audrone Vodzinskaite.

Hade de kommersiella operatörerna varit villiga att betala för saken hade även de kunnat bygga säkra driftplatser. Det måste bland annat finnas backupkraft och dubbla dataförbindelser till platsen. Det har inte med tetrastandarden att göra, utan det är normala försiktighetsåtgärder.

När Tetra höll på att tas fram fanns ett konkurrerande projekt som hette GSM-R och ett av de problem de aldrig lyckades lösa var gruppanrop eller sk talgrupper, vilket man löst i Tetra. Det måste finnas, för polisen arbetar alltid i grupper, säger Svend.

– Det finns, eller fanns en gång ett protokoll för en-till-många på GSM som kallades för Push-To-Talk (eller Push to Talk over Cellular, PoC) och undertecknad har hört det i bruk en gång. Men det försvann innan det hann få någon större spridning.

– Det används inte inom kritisk kommunikation eftersom svarstiderna är för långa. Med Tetra har man gått in för att tiden från det att man trycker på sändknappen tills att samtalet hörs, ska vara så kort som möjligt. Paradigmen man använder, kallas för ”Don’t shoot.” Antag att en polisman har sett en annan polisman uppe på ett tak, men att de inte har identifierat varandra som poliser. Den andre står i begrepp att skjuta den förste, som då griper sin radio och ropar ”Don’t shoot” till talgruppen. På grund av fördröjningar med mera hör den andre polismannen bara ”Shoot”. Tetra är därför konstruerat med mycket korta fördröjningar.

En-till-många, det är så polisen arbetar. De analoga näten var just en-till-många och det är en förutsättning

vid grupparbete, som polisarbete för det mesta är. När en användare talar i ett tetranät kan hur många som helst, potentiellt hela nätet, hela landet, höra anropet och det är alltså svårt att skapa talgrupper i mobilnäten.

Tetra-nätet är tänkt för anslutning till en ledningscentral (dispatch) där någon sitter och leder arbetet, delar ut nya arbetsuppgifter och så vidare. Mobilnäten är inte alls anpassade för något sådant, utan är bara punkt-till-punkt, men återigen kan det säkerligen ordnas med en större programvaruändring och ganska mycket ny maskinvara, som ingen sannolikt vill betala för.

TEKNISKA SKILLNADER SOM INTE KAN ÖVERBRYGGAS

Det finns emellertid tekniska hinder som inte är så lätta att komma över med mobiltelefonnäten. Man kan börja med två av tetraterminalernas inbyggda egenskaper.

Direct Mode Operation
Skulle en tetraterminal inte ha kontakt med nätet kan den användas fristående för kontakt med en annan terminal, vad vi skulle kalla walkie-talkie. Det är också möjligt för terminalen att fungera som en walkie-talkie men utan den begräsning i räckvidd som är normalt för sådana, eftersom samtalet också kan nyttja nätverket. Tetraterminaler kan dessutom fungera som mobiltelefoner med full duplex-förbindelse mot andra tetraanvändare eller mot telenätet.

Direct Mode ska fungera även med lte, eller det avser åtminstone standardiseringsgrupperna. Det skulle innebära att en brandman som undersöker ett brunnet hus, skulle kunna sända video direkt till sina kolleger ute på gatan.

Repeater Gateway Capability
Skulle bara en terminal i gruppen ha kontakt med nätet kan denne fungera som repeater för nätet och dela med sig av nätkapaciteten till de övriga. Det används lämpligen av en bilburen patrull som kan komma upp på en höjd och fungera som relästation till terminalerna som befinner sig i radioskugga. Modernare skulle man kunna kalla det för peer-to-peer-networking.

Det finns faktiskt de som både funderat på och utarbetat en metod för hur vanliga mobiltelefoner skulle kunna kommunicera ungefär som i Direct Mode, utan mobiloperatör och mobilnätverk, nämligen svenska Terranet i Lund. I fattiga länder (eller i situationer där mobilnätet slocknat) kan telefonerna kommunicera och själva bygga upp egna meshnät. Fast det kräver att det ständigt finns nog med telefoner igång för att hålla nätet vid liv, eftersom räckvidden för en enda telefon inte är mer än en kilometer. Å andra sidan kan en enda telefon med internetanslutning förse hela meshnätet med Internet. Det är en rolig idé som tyvärr inte fått mycket spridning och man kan inte räkna med att den kan användas i en nödsituation, eftersom den inte finns med som standard i någon mobiltelefon.

End-to-end-kryptering
Många av de nätverksförbindelser som används för tetranät är publika. Vissa operatörer använder E1-ledningar för mobiltelefoni och på sådana kan man inte använda vpn, till exempel. De kan avlyssnas. Det är därför Tetra är end-to-end-krypterat. Om enbart radiogränssnittet vore krypterat skulle avlyssning av användarens trafik vara möjlig när som helst efter att radiogränssnittets kryptering hade avlägsnats (dvs på alla punkter förutom Tetras radiogränssnitt).

Säkerheten i Tetra bygger på att samtal och dataöverföring är helt krypterade från avsändare till mottagare med Tetra Encryption Algorithm (TEA) eller andra nationella krypton. Även det skulle man kunna göra med en mobiltelefon. Dagens telefoner har processorer som är starka nog att kunna kryptera tal löpande.

Problem uppstår när en telefon blir stulen. Då kan man bryta sig in i den och ta reda på algoritmen och vilket lösenord som används och då är hela radionätet kompromitterat. Man kan givetvis stjäla en tetraradio också och försöka bryta upp den, men i tetrafallet är krypteringen utförd i maskinvara och kryptodelen är byggd så att algoritmen och lösenorden förstörs om kryptomodulen öppnas.

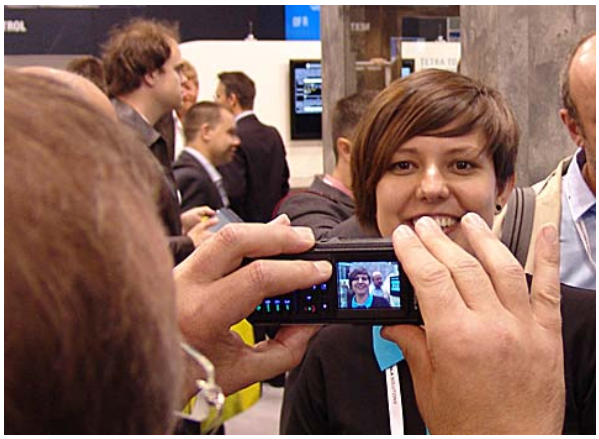
Nödanrop
Tetraterminalen har normalt en nödanropsknapp som gör det möjligt för användaren att sända nödsignaler och GPS-position till ledningscentralen. Nödanrop åsidosätter all annan verksamhet som äger rum samtidigt på radiobandet. Inget av detta finns med som standard i mobiltelefonnäten.

Robusthet
Mobilbasar byggs sällan för att överleva ett par veckor med dieselgeneratorer. Mer om detta bland katastroferna nedan.

”Vid större katastrofer, som stormar och översvämningar kommer mobilnätet att överbelastas och kollapsa.”

KAMERA ÄR HETT NU

Vi skulle kalla det för mobilkamera, men tetrafolket kallar det för Evidence Capture Solution. För närvarande har civilister mobiltelefoner med betydligt bättre funktioner än blåljusmyndigheterna. Kameror är det senaste hotta i tetrastationer, som funnits i mobiltelefoner i tio år.



En bild tagen med en teteraterminal ska kunna användas som bevis i en brottsutredning. Därför förses den med metadata, som tidsstämpel, talgrupp-id, användar-id, cell-id, apparat-id och gps-plats. Åter, inget som man inte skulle kunna göra med en mobiltelefon. Dessutom förses bilden med en kontrollsumma, så man kan se att den inte förändrats eller redigerats i efterhand. Det kan man också göra med programvara i en mobiltelefon.

OM KATASTROFEN KOMMER, OCH DET HAR DEN REDAN GJORT

USA är katastrofernas land numera, tycks det, och en liten sammanfattning visar varför radionäten måste samverka bättre. Vid Columbinemassakern den 20 april 1999 på Columbine High School i Littleton i Colorado behövde 46 olika myndigheter samverka. När Mississippi svämmade över i Ohio år 2011 var 25 olika län (counties) tvungna att samarbeta. Vid bombningen av en myndighetsbyggnad i Oklahoma City den 19 april 1995 samverkade 175 myndigheter. I alla dessa fall var man tvungen att använda sig av budbärare eftersom de olika organisationernas radionät inte var kompatibla.

Det är uppenbart att det vore bättre om alla använde ett och samma säkrade radionät.

Prioritering

Det där med prioriterad åtkomst är inte så enkelt som det kan tyckas. Som ordningsam svensk kan man tycka att det bara är att ge mobiloperatörerna en order att ”Fixa prioriterad åtkomst. Nu! Myndigheterna ska ha!” Det fungerar inte så. Operatörerna är inte intresserade av sådana kostsamma extrasvängar och myndigheterna kan inte lagligen tvinga dem att bygga om näten på ett olönsamt sätt.

Man kan mycket väl ge myndigheterna prioritet i mobilnäten, genom att låta någon annan än mobiloperatören hantera Quality of Service, men i Texas har Texas Public Safety Broadband Program redan provat det och funnit att det bara fungerar i 90 % av fallen. I många fall vill operatören inte lämna ifrån sig kontrollen och amerikanska regeringen har inte makt att tvinga dem. Vid svåra olyckor har anropskanalen varit så överbelastad att det inte spelat någon roll om någon haft prioritet eller ej.

Vid större katastrofer, som stormar och översvämningar kommer mobilnätet att överbelastas och kollapsa. Det kommer inte att finnas plats över för myndigheter.

Texas är en amerikansk delstat som drabbas av extra många stora katastrofer. Nu ska vi inte sätta oss på våra svenska höga hästar och tycka att ”Jamen amerikanerna, de har ju ständigt katastrofer. Det rör inte oss.” Istället ska vi lyssna och lära. Myndigheterna i Texas ställde sig precis samma fråga som jag, nämligen om det var absolut nödvändigt med ett tetranät eller om man kunde klara sig med 3g. Svaret blev nej.

Efter att ha försökt evakuera tre miljoner människor på 36 timmar inför stormen Sandy fann man att de kommersiella näten helt enkelt lade sig på rygg, överbelastade, och ville inte vara med längre. När tiofiliga motorvägar är helt igenkorkade med människor som försöker fly, då gäller inte vanliga belastningsberäkningar.

Texas befinner sig mitt i ”Tornado Alley” och efter stormen Sandy hade 20% av det kommersiella nätet helt enkelt blåst bort. En helt vanlig basstation har ingen längre batteribackup, medan tetranät alltid byggs kata-

strofsäkrade med dieselgeneratorer för lång tids drift. Översvämningen efter Sandy resulterade i mil på mil med dränkta kuststäder och utslaget mobilnät. Det enda som blev kvar var tetranätet. Det spelar ingen roll om polisen skulle ha prioriterad åtkomst till mobilnätet. När masterna har blåst bort eller nätet är absolut igenkorkat av civilister är inte ens anropskanalerna (tidsluckorna) tillgängliga.

När en fabrik för gödningsmedel plötsligt exploderar, som i staden West 2013 och plattar ut en halv stad, utbryter en storm på det kvarvarande mobilnätet. När polisen kommer till platsen en kvart senare har de ingen chans att få nätkapacitet.

FRAMTIDEN

Det borde nu stå vara klart för var och en att verksamhetskritisk (Mission Critical) kommunikation är detsamma som nät fria från privatpratare. Men det räcker inte med det. Det finns fortfarande ett stort antal inkompatibla radionätverkstyper för myndighetsbruk och andra kritiska tillämpningar och samarbetsorganisationen Critical Communications Broadband Group (CCBG) som är en del av TETRA and Critical Communications Association (TCCA) jobbar för ett samgående mellan de olika varianterna, såsom P25, gsm-r, och en harmoniserad form av lte över hela världen.

Just det där med bristen på harmoniserat utnyttjande av spektrum plågar som bekant även mobiltelefonin. Olika radioband används i olika delar av världen och kunderna måste köpa rätt sorts apparat för rätt världsdel. En förutsättning för att Tetra ska kunna användas gränsöverskridande är just att alla kommer överens om att använda samma radioband.

– Så min idé att man lika gärna skulle kunna använda 3g-näten istället för Tetra, den håller inte?

Bild Audrone Vodzinskaite

– Nej. 3g kan du använda som supplement. Tetras radiogränssnitt har egenskaper som inte går att få med exempelvis 2g. Pre-emption, alltså att avbryta en radio-

”Olika radioband används i olika delar av världen och kunderna måste köpa rätt sorts apparat för rätt världsdel. ”

förbindelse för att det kommer ett nödanrop, kan man inte göra med gsm, men det kan man med Tetra, avslutar Svend Frandsen.

LÄS MER

Tetra Association: http://www.tandcca.com/
Wikipedia: http://sv.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Trunked_Radio
Engelska Wikipedia är bättre: http://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Trunked_Radio
TEDS: http://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Trunked_Radio#TEDS_.28TETRA_EDS.29
Viktigt vitpapper: "Mission Critical Mobile Broadband: Practical standardisation & roadmap considerations" http://www.tandcca.com/Library/Documents/CCBGMissionCriticalMobileBroadbandwhitepaper2013.pdf

LEVERANTÖRER

Motorola är en av de största leverantörerna: http://www.motorolasolutions.com/XU-EN/Home?WT.tsrc=Georedirects
Sepura fick leverera till Rakel: http://www.sepura.com/
Ett meshnät för mobiltelefoner: http://terranet.se/

RAKEL

MSB om Rakel: https://www.msb.se/sv/Produkter--tjanster/RAKEL/
Rakel har haft många politiska motgångar:
http://www.idg.se/2.1085/1.295963/rakel-spektakel
http://www.idg.se/2.1085/1.448744/glom-inte-att-det-ar-till-for-att-radda-liv
och missförstånd. Det LTE som dryftas i Tetra-sammanhang är inte mobilnäten:
http://www.idg.se/2.1085/1.338288/ericsson-och-motorola-utmanar-rakel

Jörgen Städje, expertbyggare.

Powerware 9120 tar hem segern

Litet format, smart administrationsprogram och mycket behändiga utbyggnadsmöjligheter gör Powerware 9120 till vinnare. Att den dessutom ger reservström dubbelt så länge som QPS 300/10 är en tung fördel. QPS 300/10:s användarvänlighet, tunga känsla och fantastiskt vackra yttre (och inre) hjälper tyvärr inte, men i en kamp mellan jämlikar (utan usb och sådant tjafs) skulle QPS 300/10 stå sig bra. Den matar två servrar i 25 minuter, trots allt.

Testade produkter
- TechUps QPS (Quick and dirty power supply) 300/10 (just det, den till vänster!)
- Eaton Powerware 9120 (1500 VA)

Scenario: Är det värt att bygga en egen ups?

»Nej, det är knappast värt besväret att bygga en egen ups. Det blev inte ens billigare att göra det själv. Tanken med det här testet var att utröna hur ett hemmabygge står sig mot en "riktig" ups. Dessutom var målet att ha roligt under tiden, vilket vi verkligen hade.

Varför gör de på detta viset?

Varför lagar folk egen mat, när det är så mycket enklare att köpa färdig? Varför seglar vissa till Västindien, när det går fortare med flyget? Varför brottas en hel bransch med it-relaterade problem, när det bara är att läsa TechWorld? För att det är roligt, helt enkelt. *Because we caaan!!!* Som amerikaner brukar utbrista med något galet i blicken.

Annars är det med fabriksfärdiga ups:er som med det mesta – livet blir så mycket lättare med snabbmat, direktflyg och TechWorld. Bzzzt!

Lars Dobos, testredaktör
lars.dobos@idg.se

Vår egen UPS – där small det!

Hur svårt kan det vara? En ups-enhet är batteri, laddare, strömkonverterare och lite sladdar, eller hur? Brunnet motstånd till trots – vi lyckades bygga en ups som vi jämfört med en "riktig" från Eaton. Försök inte med detta hemma!

TEXT: LARS DOBOS & JÖRGEN STÄDJE FOTO: ANDREAS EKLUND & JÖRGEN STÄDJE GRAFIK: JONAS ENGLUND & JÖRGEN STÄDJE

Varför? Vi svarade på den frågan minst en handfull gånger innan vi satte igång. Är det inte enklare att köpa en färdig ups? Jo, men det är ju roligt att bygga själv. I god Nördtestanda (ett test som figurerade en gång om året i Nätverk & Kommunikation) gav vi oss in på en resa som skulle resultera i en duell mellan TechUps QPS 300/10 och Eaton 9120. Skam den som ger sig.

Det började med att TechWorlds testredaktör under ett redaktionsmöte sa ”Vi bygger en ups”, i tron att vi skulle komma enkelt undan. Ups:er är dock allt annat än enkla, skulle det visa sig.

Glada i hågen började vi surfa på nätet efter ritningar och liknande för ett hemmabygge. Underligt nog hade få, eller snarare ingen vi kunde hitta, varit så smarta att de kläckt den här idén tidigare. Den information vi lyckades komma över pekade i alla fall mot att ”vatten över huvudet” var en underdrift. Som tur är finns det vänner, den här gången i form av Jörgen Städje, skribent med grym erfarenhet av hemmabyggen. Vi snackar killen med hemgjort tangentbord i läder och ädelträ och med fler ärr efter lödloppor på fingrarna än du kan räkna.

Städje smider en plan

Jörgen tillhörde givetvis Varför-kören när vi underdånigt bad om assistans med vårt tilltag, men med en luttrad suck, som från en rutinerad reparatör av bränd ttl-logik, började han att rita på en Plan. Efter den första skissen började vi beställa delar från Elfa, som under hela bygget har ställt upp med diverse material.

Vår första tanke, att skruva fast alla delar på en plywoodskiva och ha hela härligheten öppen, förkastades omgående av Mäster Jörgen. Här skulle vi ha ett rejält skåp, potentiellt med fläktar att kyla systemet med. Vi hyste farhågor om att temperaturen skulle bli hög. Även här visste Elfa på råd och bidrog med ett äkta skåp från Rittal, med en löstagbar plåt i bakplanet. Plåten tjänade som byggplatta och kunde sedan, med alla komponenter på plats, skruvas fast i ”ryggen” inuti skåpet. Givetvis skulle vi även ha lampor som indikatorer på skåpdörrens framsida.

Batterierna blev en avdelning för sig. Vi insåg snart att vanliga bilbatterier skulle bli både alltför otympliga och överdrivet kraftfulla i fråga om drifttiden. 50–80 amperetimmar skulle räcka till drift av en server i timtal. Tio amperetimmar kändes lämpligare och på kuppen skulle vi få ett mer kompakt paket. Vi hittade till slut vettiga batterier på Biltema. De ser ut som motorcykelbatterier, men är snarare batterier av generell typ.

Kondensator för jämn ström

Vi behövde två ringkärnetransformatorer för att ta ner inkommande 230 volt växelström till 24 volt likström via två likriktare. En rejäl kondensator behövdes för att ta ut tillfälliga spikar och ge en jämn ström.

Så byggde vi vår ups

Det här behövde vi. **Den monstruösa kylflänsen till Schottkydioden visade sig något överdimensionerad, vi nöjde oss med en mindre.**

Uppdraget var att bygga ett obrytbart kraftaggregat av online-typ, avsett för 300 watts kontinuerlig drift. Poängen med ett sådant kraftaggregat är att det transformerar ner nätspänningen till 24 volt och likriktar den, glättar likspänningen och matar in den i en växelriktare som återigen gör den till 220 volt växelspänning, som i sin tur får driva en dator. Samtidigt håller kraftaggregatet ackumulatorer på 24 volt laddade. De tar över om nätspänningen skulle försvinna på grund av strömavbrott. Ackumulatorerna är alltid inkopplade, varför överkopplingstiden till batteridrift är noll.

Ingen större verkshöjd krävdes, men det var ändå intressant att visa hur man gör. Vi påstår inte att ups:en är särskilt effektiv eller kompakt, men den uppfyller alla elsäkerhetskrav och fungerar enligt specifikationerna.

Nätspänningen tas in i två ringkärnetransformatorer på 18 volt och 200 volt-ampere, likriktas sedan och läggs på en stor kondensator på 100 000 mikrofarad. Kondensatorn ska ta tillfälliga underspänningar och ge glättad spänning till växelriktaren. Subtraherar vi förlusterna i likriktarbryggan och multiplicerar med roten ur två blir det 26 volt. Växelriktaren ska nominellt ha 24 volt, med ett minimum på 20 och ett maximum på 30.

Vi valde att seriekoppla två 12-volts-ackumulatorer för att få 24 volt. Anledningen till det är att enbart 12 volt ger betydligt mindre svängrum vid urladdningen än 24 volt. Man kan hävda att blyackumulatorerna skulle kunna laddas direkt från de 26 volt som skapas av nättransformatorerna, men efter samtal med en gammal konstruktörsräv på Danaher Motion, som ägnat sin yrkeskarriär åt att ladda och ladda ur blybatterier på bästa sätt, beslutades att batterierna skulle få laddas med en separat laddregulator. En Mascotladdare som gav 1,25 ampere visade sig vara rätt medicin.

Spänningen från batterierna läggs in på stora kondensatorn över en diod för att inte den högre spänningen på kondensatorn ska kunna rusa baklänges in i ett par urladdade batterier och smälla dem. Den där kondensatorn kan verkligen pressa mycket ström.

Det vill till att förlusterna i dioden är låga, så vi valde en så kallad Schottkydiod. Vid normal belastning blir spänningsfallet över dioden aldrig över 0,35 volt (kontra en vanlig kiseldiod där det skulle ligga på minst 0,7 volt = dubbla effektutvecklingen).

Alla ledningar samlades på kondensatorn, eftersom den var utmärkt som kopplingsplint enligt den gamla devisen ”Jorda bara i en enda punkt”. När man bygger förstärkare kan man få brum om man jordar här och där, men i det här fallet skulle det i stället kunna bli gnistor och rök.

Det stod från början klart att vi skulle behöva ett mjukstartrelä. När 400 volt-ampere transformatorer får ladda upp 100 000 mikrofarad kommer strömrusningen att bli otrolig. Nätsäkringen skulle säkerligen gå, såväl som likriktarbryggorna. Ett ordentligt kraftigt (10 ampere) enpoligt relä sattes i serie med nätspänningen till de båda transformatorerna.

Reläspolen drivs från kondensatorn och när den är tom är reläet öppet. Över polerna sitter ett 120 Ohms motstånd som sänker strömrusningen till under 1,8 ampere och när sekundärspänningen kommit upp till 21 till 22 volt nyper reläet och kortsluter motståndet.

Det gäller att reläet inte tar allt för tidigt, så i serie med spolen lades ett motstånd på 220 Ohm. Vi hade inget särskilt skäl att välja just 220 Ohm, det bara kändes rätt och dessutom var motståndet lagom biffigt. Det visade sig vara helt korrekt.

Snart klart. Allt på plats på monteringsplåten. Nu kunde vi lyfta in hela härligheten i ett stycke i Rittalskåpet.

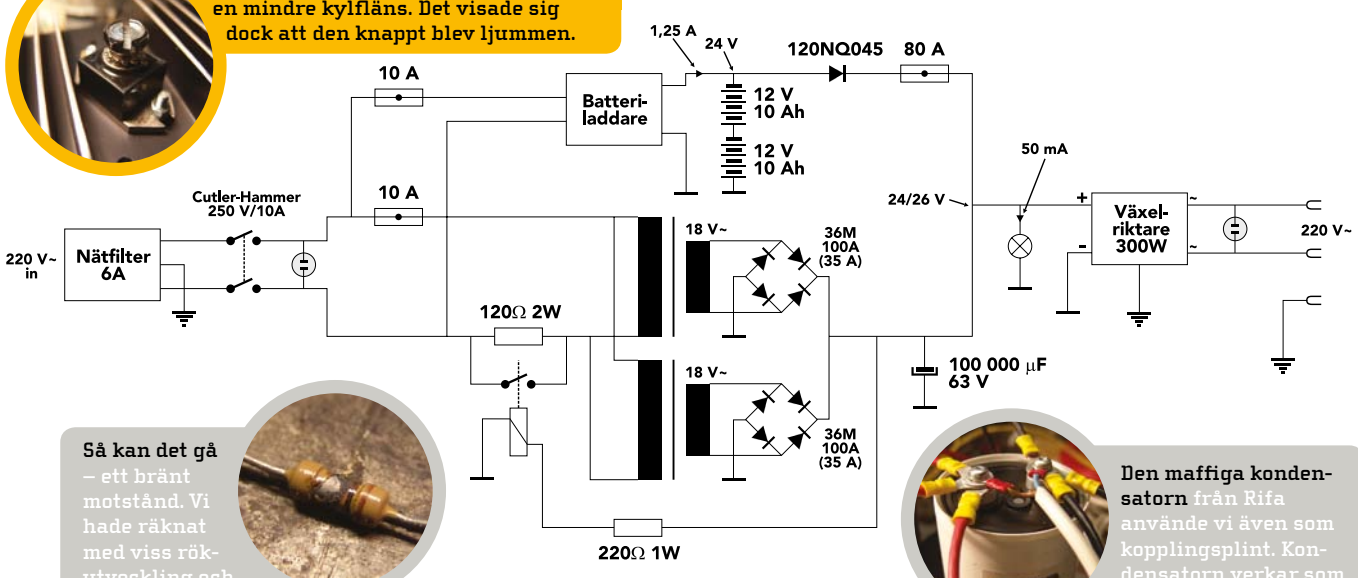
Varför två transformatorer och två likriktare? Kravet var att enheten skulle byggas med komponenter från Elfa och katalogen innehöll inte starkare likriktarbryggor än 35 ampere. Inte heller fanns det några större transformatorer i lager än 2 x 18 volt 200 volt-ampere.

Det kan tyckas lite fusk att använda en färdig växelriktare, men skulle vi ha byggt även en sådan hade utvecklingstiden blivit betydligt längre.

Lennart Wallebom från Eaton och Jörgen Städje, expert, ser konfunderade ut i TechWorlds testlabb. QPS 300/10 lyckades driva två RX200 i 25 minuter. Eatons Powerware 9120 är mindre, men vassare.

Och här är kopplingsschemat – bara att plocka fram lödkolven!

Schottkydioden i närbild, monterad på en mindre kylfläns. Det visade sig dock att den knappt blev ljummen.



Så kan det gå – ett bränt motstånd. Vi hade räknat med viss rökutveckling och vi fick rätt.

Den maffiga kondensatorn från Rifa använde vi även som kopplingsplint. Kondensatorn verkar som olja på vågorna.

SVENSK INSAMLINGS KONTROLL

Säg Nej till cancer!

Bli månadsgivare

Gå in på cancerfonden.se/nej

Cancerfonden

4 frågor till Jörgen Rönnqvist, sales manager på Eaton

Vad är ert intryck av vårt bygge? Fungerar det?

– TechUps fungerade i den miljö och med den belastning som gällde vid testet i ert labb. Men det finns en hel del frågeställningar som man bör fundera över: Klarar den personsäkerhetskrav, emc-normer etcetera?

Vad borde vi ha tänkt på?

– TechUps saknar en viktig funktion, nämligen en möjlighet att stänga av hela ups:en. Det räcker inte med att rycka ur nätsladden eller slå av strömbrytaren på ingången – TechUps fortsätter att leverera utspänning så länge det finns energi kvar i batteriet. Det kan vara förenat med fara för liv och lem och är även en brandrisk.

Bypass är i dag en "måste-funktion" i en online-ups vid exempelvis batteribyte och underhållsservice. Den funktionen saknar TechUps.

Brytaren på ingången är inte heller bra eftersom TechUps inte indikerar batteridrift. Du kan alltså oavsiktligt sätta TechUps i batteridrift utan att få indikering på det.

En ups används i många olika tillämpningar och sammanhang. I vissa tillämpningar kräver nätaggregaten sinusformad spänning och inte fyrkantsvåg som TechUps levererar.

Viktig driftinformation till användaren saknas hos TechUps, till exempel om det är batteri- eller nätdrift, laddningsstatus på batteriet med mera. Kommunikation mellan ups och dator för övervakning och nedstängning av operativsystem är också ett måste i dag.

Är ni rädda för konkurrensen från TechUps?

– Med sin estetiskt unika design får TechUps en särställning på marknaden och vi kan därför inte underskatta konkurrensen från den. Eaton kommer att göra allt som står i vår makt för att behålla våra marknadsandelar.

Vad kan Eaton tänkas betala för 51 procent i TechUps AB?

– Eaton har ju inom loppet av några år förvärvat Powerware och även MGE:s Small System Business. TechUps produkter kan kanske vara ett bra komplement till vår nuvarande produktportfölj för att behålla vår ledande position på marknaden. Värdering och prissättning diskuterar vi inte officiellt.

Hårda fakta TechUps QPS 300/10

Ups:en är av online-typ, det vill säga överkoppling från nätdrift till batteridrift är omedelbar.
Maximal uteffekt: 300 watt
Hålltid vid 200 W belastning: 36 minuter
Lagrad energi: 120 Wh
Batterier: 24 volt 10 Ah
Mått (b x h x d): 450 x 650 x 300 millimeter
Vikt: 40 kg
Godhetstal (Wh/kg): 3,0

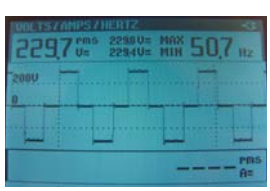
Likaså behövdes en ordentlig diod så att inte strömmen från kondensatorn skulle kunna slå tillbaks mot batterierna. Ett relä behövdes också för att få till en mjukstart av diverse strömmar. Till slut behövde vi även säkringar och motstånd på olika ställen för att säkra alla delar i konstruktionen.

TechWorld tar inget ansvar för varken hjärnceller eller frisyr om ni vill testa hemma. Speciellt kondensatorn är en best som kan sätta de flesta logiska system ur spel.

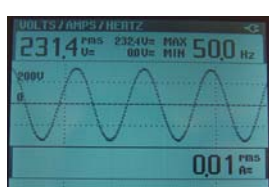
In med strömmen – och så small det

Så hur gick det då? Jo, en transformator felkopplades och blev väldigt varm och ett motstånd blev extremt varmt och brann, om vi ska vara helt ärliga. Annars var enda problemet att de tranformationer vi först kalkylerade med var något feldimensionerade. Med en ny uppsättning transformationer blev det hela perfekt. Bygget testades med en 200 watts bygglampa som brann i över en halvtimme på batteridrift.

Var vårt bygge då en riktig ups? Det var här Eaton kom in i bilden. Företaget gör riktiga, eller snarare kommersiella, ups:er. Hur stod sig vår ups i jämförelse med en lämplig ups-modell från Eaton?



Oj. Inte fullt så jämn sinusvåg från QPS 300/10, men de flesta nätaggregat klarar fyrkantsvågor.



Så ska det se ut. Powerware 9120 ger minsann en perfekt sinuskurva på utspänningen. Bra.

Reservkraft & administration

Vi testade hur länge Eaton Powerware 9120 och vår QPS 300/10 kan ge reservkraft till två Fujitsu Siemens RX200-servrar med nätaggregat på 300 watt vardera. Reservkraften är god från båda produkterna, även om Powerware 9120 har ett litet övertag med sina 45 minuter till varning och 51 minuter till totalt stopp. QPS 300/10 ger fin kraft upp till 25 minuter till första varningen och nästan 27 minuter till stopp.

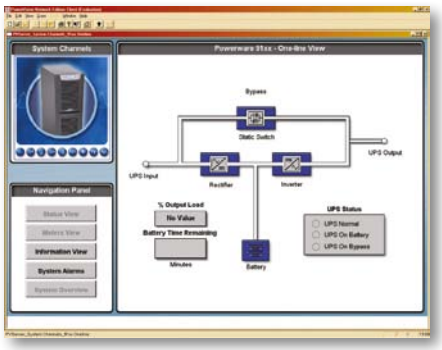
Viktigt är också att en ups ger en vacker sinusvåg till känsliga kraftaggregat och tar ut spikar i nätspänningen. Powerware 9120 ger en galant våg, rund och fin, och tar ut alla spikar med den äran. QPS 300/10 har en lite mer fyrkantig våg, men fixar spikarna nästan lika fint som Powerware – se fotona från mätningen ovan.

Administrationsgränssnitten i våra tävlande ups:er är inte helt lika till utseendet. Powerware 9120 har till och med två administrations- och övervakningsverktyg för den hugade administratören: Powervision 4.1 och Lansafe 5.1. Lansafe hade vi inte mycket nytta av eftersom den 9120 vi testade saknade nätverkskort. Men vad gjorde det när vi kunde använda både seriell rs-232 och usb som kommunikationsmetoder?

Powervision är ett utmärkt övervakningsverktyg som varnar användaren för alla tänkbara fel och brister hos en Powerware 9120. Minsta gny från telningen och Powervision varnar stolt.

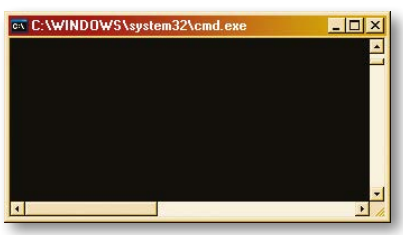
TechUps å sin sida borde skämmas att kalla sitt administrationsprogram för administrationsprogram. Enda sättet att till exempel veta att batterierna har tillräcklig

Eatons välansade gränssnitt "Lansafe 5.1β" ...



Vi fäller en tår. Ja, så här fint kan ett administrationsgränssnitt till en ups se ut. Pedagogiska diagram över funktioner, med kopplingsschema och allt. Lansafe 5.1 Beta heter programmet (till vänster).

... och vårt eget minimalistiska "Jörgen 0.0.1β"



Cleant och rätt – douze points! Administrationsgränssnittet i TechUps känns något skralt, till och med minimalistiskt faktiskt. Men svart är ju inne nu.

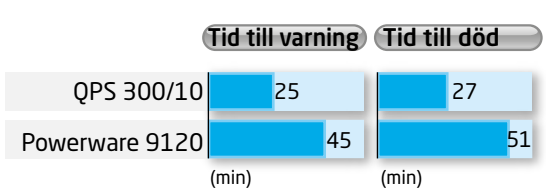
Det bor en ande i varje ups! Skala av en usb-sladd och löd fast den i Schottkydioden, ät flugsvamp och skriv sedan i terminalen: "fprint –a –n –d –e \\schottkis". Shanteeee!

laddning är att sätta ena fingret mot en batteripol och ett annat finger mot en diskbänk. Lite fler funktioner än så vill vi gärna se, snälla TechUps.

Användarvänlighet & utbyggnad

Jämfört med QPS 300/10 är Powerware 9120 inte speciellt användarvänlig. Alla program, skärmar, kommunikationsprotokoll och (stön!) handböcker gör lätt användarna förvirrade. Exempelvis måste vi installera drivrutiner från en medföljande cd-skiva för att vår pc över huvud taget ska kunna prata med Powerware 9120. Ska det vara nödvändigt med en så enkel sak som en ups? Teckenfönstret är en historia för sig, det finns hela tre knappar och fyra lampor att hålla reda på. QPS 300/10 klarar sig med en knapp och tre lampor (och två säkringskontakter, i och för sig).

Förstagångsköparen av en Powerware 9120 har dessutom en månlandningskomplicerad instegsprocess att gå igenom. Först måste vi lyfta på locket på framsidan och peta i en kontakt (till batteriet), och sedan, hör och häpna, måste vi trycka på en startknapp som sitter dold under ett klistermärke där det står att vi först ska lyfta på locket och peta i en kontakt (till batteriet) för att sedan trycka på startknappen som vi inte kan se för att klistermärket sitter där. Herre jisses!



Aj, aj, aj! QPS 300/10 får ganska ordentligt med smörj av Powerware 9120 – dubbelt så länge håller den senare liv i våra servrar, inte illa. Men så är den ju en kraftigare apparat också, så helt rättvist är det inte. Servrarna drog ungefär 210 watt och 1 ampere tillsammans. Observera att även QPS 300/10 har discharging protection, den stänger alltså av innan batterierna har laddat ur för mycket. Växelriktaren börjar pipa vid cirka 21 volt och nyper helt vid 20 volt.

Titta då på QPS 300/10. Kan det bli mer användarvänligt än att stoppa in en sladd från ett vägguttag (i rätt uttag, tack) och en annan sladd från ups:en till lämplig server ifråga? Sedan är det bara att slå på strömbrytaren på framsidan.

Händer det inget då har vi glömt att slå på strömbrytaren på konverteraren, den finns högst upp på monteringsplattan bakom dörren. Händer inget då heller måste vi kolla att glödlamporna i indikeringslamporna på framsidan inte har gått sönder. I så fall händer ingenting fast det egentligen har hänt något. Och om det faktiskt inte har hänt något måste vi kontrollera säkringarna. Det sitter två på dörren och minst två inuti, någonstans vid kondningen. Eller var det kanske vid dioden? Hur som helst, enkelt så det förslår.

Utbyggnadsmöjligheterna är löjligt enkla med Powerware 9120. Du köper ett extra batteripack och sticker in en kontakt i ett för ändamålet speciellt uttag på baksidan. Dessutom finns en pci-kortplats ledig.

QPS 300/10 *kan* utökas med fler batterier, men då måste TechUps klippa upp buntbanden som håller fast batterierna och knöla in fler någonstans i skåpet. Men visst, det går. Pci-kortplats har de nog inte tänkt på än.

Vikt & utseende

Vi bestämde tidigt att inte lägga större vikt vid vikten eftersom vi inte har någon våg, men det är inte så viktigt. Viktigare är då vikten av ett vackert utseende. Vi kan i alla fall konstatera att QPS 300/10 väger tyngre än Powerware 9120, vilket ju inte är så konstigt med tanke på det bastanta Elfa-stålskalet jämfört med 9120:s simpla plast.

Simpel plast ja, vi tycker också att teckenfönstret på Powerware 9120 kunde ha varit blått. Det ser mysigare ut i mörker och dessutom använder Apple ofta blå lysdioder. Det Apple gör måste ju vara snyggt, eller hur? Alltså ska det vara blått.

Att QPS inte har någon blå lampa, för att inte tala om att den saknar mysigt teckenfönster helt och hållet, beror på att garaget där den byggdes inte hade blå lampor (och absolut inte något teckenfönster) i någon gammal ölback med elektroskrot vi letade i. Det kan TechUps inte rå för och de kan inte tänka på allt när de beställer prylar från Elfa.

Annars skäms Powerware 9120 inte alls för sig utseendemässigt. 9120 är liten och nätt, går i en pc-beige färgskala och har blank metall på baksidan. Den är faktiskt skrämmande lik en pc. Det är bra med tanke på att servrar kan bli oroade av så mycket kraft i sin närhet.

9120 kommer här dock inte i närheten av QPS 300/10. Vi tvekar faktiskt inte att kalla

Så gjorde vi testet

Lars Dobos i ga... ähum testlabbet.

Ups-enheter är ganska otacksamma testobjekt - de liksom bara fungerar. Hur som helst; när bygget väl var färdigt testade vi produkterna mot varandra i olika grenar. Givetvis ska en ups leverera reservström, både länge och vackert (snygg sinuskurva, utan spikar). Vi testade att driva två RX200-servrar från Fujitsu Siemens.

Bra ups:er ska ha ett dugligt administrationsprogram som kan varna vid strömproblem och kunna stänga av en server på ett kontrollerat sätt. Även användarvänlighet och utbyggnadsmöjligheter är viktiga egenskaper.

Till sist har vi bedömt vikt och utseende. Ups-enheter ska vara tunga (annars inger de inget förtroende) och vad som helst som gör en trist server vackrare är bra. Vi vill också passa på att tacka Elfa för bistånd med delar och komponenter.

Heta bilder på webben!

Vill du ser mer av hur bygget gick till? På **techworld.se** finns ett bildspel där du i detalj kan se hur vår ups är konstruerad!

Fakta & betyg

Jörgen Rönnqvist, Eaton, Jörgen Städje och Lennart Wallebom studerar Fluke.

	POWERWARE 9120 (1500VA)	QPS* 300/10
Leverantör	Eaton Corporation	TechUps
Cirkapris, kr exkl. moms	8 000	5 000 (exkl. arbetskostnad)
Internt program	2.6E	0.0.1**
Online ups	ja	ja
Discharging protection	ja	ja
Varning nära stopp	ja	ja
Administrationsprogram	Powervision 4.1 och Lansafe 5.1	Jorasåatteh
Uteffekt, watt	1 050	300
Batterispänning, volt	55	24
Frontpanel	ja	visst, lite lampor och så
Snmp	ja	nej
Nätverk	ja, med tillbehörskort	nej, nej
Usb	ja	nej, nej, nej!!
Fördelar	Ger god reservström med tanke på det lilla formatet, övervakning med bra program.	Snygg! Och den levererar faktiskt reservström.
Nackdelar	Ser lite klen ut, vi hade gärna sett att teckenfönstret var blått.	Det mesta, utom att den levererar ström.
Reservkraft	38 av 40	20 av 40
Administration	8 av 10	1 av 10
Användarvänlighet	8 av 10	9 av 10
Utbyggnadsmöjligheter	9 av 10	2 av 10
Vikt	8 av 10	9 av 10
Utseende	16 av 20	20 av 20
Totalt	87 AV 100	61 AV 100

* Quick and dirty power supply. ** Vi vet på ett ungefär var vi skulle placera sensorerna för att ta ut signal till framtida interna program (firmware).

den ett konstverk. Utseendet borde få det mest ilskna, glassinsmetade, varuhusstressade barn att hoppa av hänförd lerpölslycka.

Innanmätet kommer inte långt efter. Blanka, vackra komponenter smakfullt ditskruvade av känsliga konstnärshänder eller lödda med bästa ryska kaviartennet som finns. Och säg den moderna ups som kan stå med en äkta kontakt från Cutler-Hammer. Vi utdelar här maxpoäng i delmomentet.

TechWorlds slutsats

Mja, kanske bör du köpa en kommersiell ups i alla fall, åtminstone om vi ska gå efter det här testet. Det blir inte mycket dyrare och det gör säkert hälften så ont. Att QPS 300/10 får högre betyg för användarvänlighet, vikt och utseende hjälper inte.

Powerware 9120 är helt enkelt mycket bättre på de områden där en ups ska vara bra – att ge reservström, till exempel. Även administrationsprogrammet är klart mer användbart hos Powerware 9120 och vi tycker att det är trevligare med ett system som kan byggas ut utan att man behöver ta till rörtång och fula ord. Grattis Eaton till en välförtjänt seger.

Det är dock på sin plats att utdela en TW – Grön it till TechUps QPS 300/10. Dels är alla komponenter från Elfa rohs-märkta, dels använder TechUps blyfritt lödtenn. TechUps kan även ge en it-miljödeklaration på att många delar kommer från återvunnet material, att övrigt är återvinningsbart och att fläktljudet är kontorstyst.

Lars Dobos är testredaktör på TechWorld. Du når honom på lars.dobos@techworld.se.
Jörgen Städje är elektronikkonstruktör. Läs honom på techworld.se/jorgen och skriv till honom på jorgen.stadje@techworld.se.

Kommentaren

Städjes kommentar till artikeln

Visst kan man bygga ett obrytbart kraftaggregat själv, men inte blir det effektivt inte. TechWorld ville bara visa hur det gick till, så undertecknad fick ta fram borrmaskin och lödkolv och bygga. Och inte stod den sig så bra mot en kommersiell variant heller.

Elnätet blir tyvärr inte bättre, utan alla som har en någorlunda stor datorinstallation hemma bör fundera på ett obrytbart kraftaggregat. Det händer att kraften i vägguttaget försvinner ett par sekunder då och då, främst när det är åska i faggorna.

Verkningsgraden på små offline-aggregat är nu uppe över 97 procent, så de genererar ingen värme att tala om. I en artikel från 2014 bevisar jag att de dyrare online-aggregaten inte alls är nödvändiga, när man kan klara sig med exempelvis Eatons line-interactive-teknik (tinytw.se/stromav).

Du som inte får nog kan läsa mer om lite annat elektronikgrejs som jag också byggt i artikeln ”Hemma hos Jörgen Städje – it-pionjären” (tinytw.se/itpionjar)