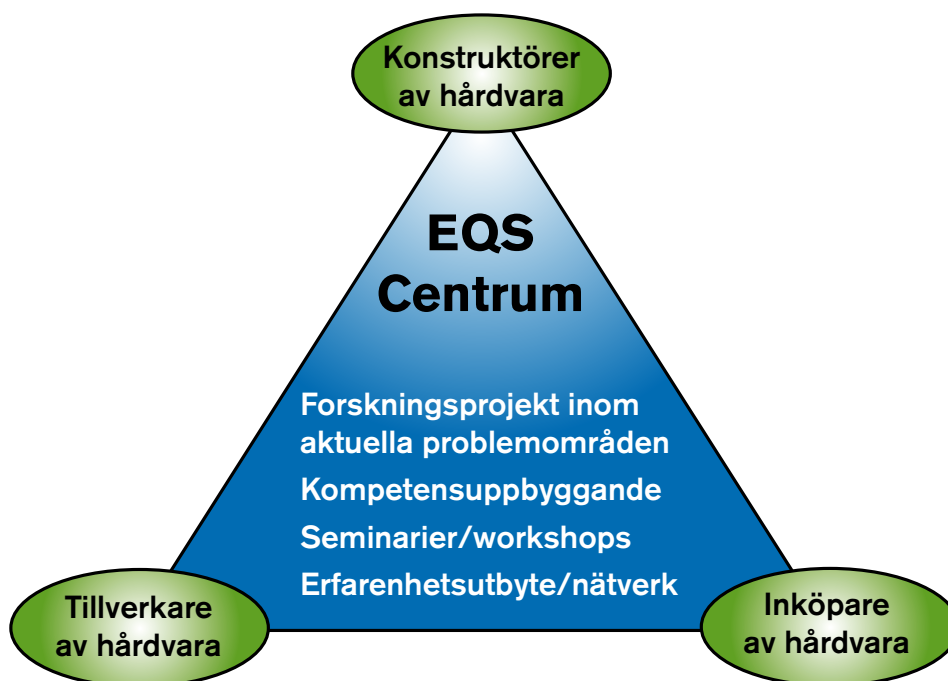


# EQS Centrum

Elektronikkvalitet genom samverkan  
och lean produktutveckling



Swerea IVF och Swerea KIMAB startar tillsammans ett forskningscentrumet EQS Centrum. Målet med centrumet är att utveckla arbetssätt, verktyg och kunskap för en effektivare produktframtagning av elektronik hårdvara. Detta uppnås genom att säkerställa producerbarhet och tillförlitlighet tidigt under utvecklingsprocessen för att undvika förseningar i produkt lansering. Därigenom underlättas införandet av ny teknik för att förbättra funktionalitet, sänka tillverkningskostnader eller på grund av lagkrav. Tonvikten ligger på att säkerställa kvaliteten under produktutvecklingen men även vid upphandling av elektronikprodukter från underleverantörer. Målgrupp är företag med egen konstruktion av elektronik hårdvara, underleverantörer till dessa samt företag som köper in färdigkonstruerad elektronik för integrering i egna produkter.

## Utmaning:

### Att säkerställa kort utvecklingstid vid användning av ny teknik

Den snabba utvecklingen av nya material, komponenter och byggsätt för att tillverka elektronikhårdvara erbjuder stora möjligheter att förbättra funktionalitet och att minska tillverkningskostnader. Detta medför att kompetens att välja rätt designlösning blir allt viktigare i konkurrensutsatta branscher. Samtidigt innebär implementering av ny teknik nästan alltid ökad risk för ”barnsjukdomar” och nya felmekanismer. Sent upptäckta tillförlitlighetsproblem kan orsaka kraftiga förseningar i produkt lanseringen eller stora reklamationskostnader.

Utmaningen är att hitta arbetssätt för produktutveckling som underlättar implementering av ny teknik. Det gäller även att finna metoder för att säkerställa robusthet och tillförlitlighet så tidigt som möjligt under designfasen. I EQS Centrum fokuserar vi på båda dessa delar.

### Implementering av ny teknik

Toyotas koncept för ”lean” produktutveckling har under senare år fått allt större uppmärksamhet i Sverige, dock främst i andra branscher än elektronikbranschen. ”Set-based Concurrent Engineering” inom lean produktutveckling är ett arbetssätt för att snabbt och effektivt hitta den bästa designlösningen. Detta sker genom att parallellt utvärdera olika designlösningar. Ett kanske bättre beskrivande namn är ”multilösningsteknik”.

Grunden i detta arbetssätt är att gå igenom och verifiera alternativa tekniska lösningar i ett tidigt skede i utvecklingsprocessen för att förutsättningslöst välja en designlösning (se bild 1). Parallellt med de mer eller mindre innovativa lösningarna är det bra att ha med ett alternativ baserat på beprövad teknik. Detta för att minimera risken för förseningar i produkt lanseringen om det skulle visa sig att de innovativa lösningarna inte går att realisera. Samtidigt finns möjligheten att någon av dessa lösningar går att realisera i en produkt med mycket bättre funktionalitet och/eller lägre tillverkningskostnad.

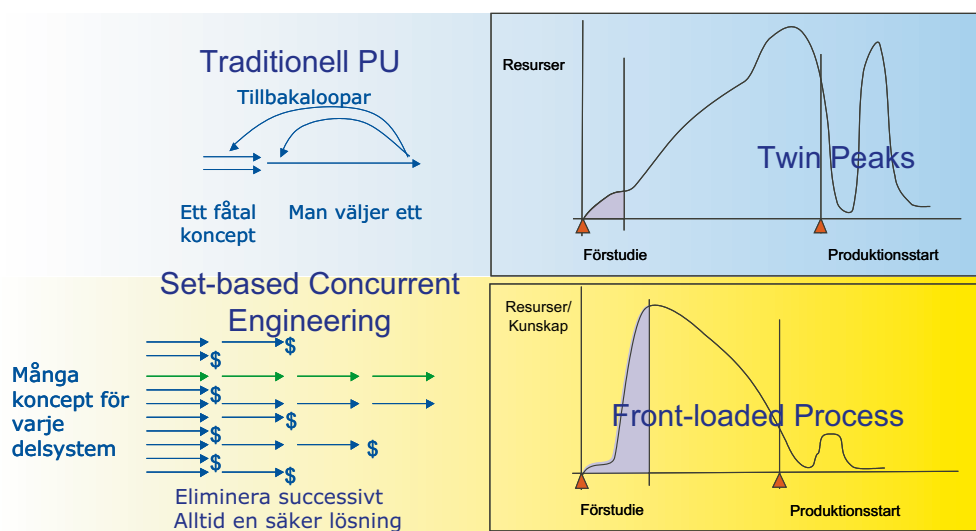


Bild 1 Jämförelse mellan traditionell produktutveckling och ”Set-based Concurrent Engineering”.

Arbetsättet innebär en utvärdering tidigt i produktutvecklingsprocessen om hur de olika designlösningarna påverkar funktionalitet, producerbarhet, tillförlitlighet, tillverkningskostnad etc. Målet är att uppnå ett kunskapsbaserat beslutsfattande genom att ta fram tillräcklig

kunskap för att kunna bedöma vilken designlösning som ger den bästa lösningen innan det slutliga valet görs. Detta kräver en stor arbetsinsats i inledningen av produktutvecklingen, men i gengäld minimeras risken för sent upptäckta problem och omkonstruktioner. Förfarandet gör att det avgörande beslutet om slutlig designlösning tas betydligt senare än vid traditionell produktutveckling. Ändå leder det ofta till snabbare produktansättning tack vare frånvaron av sena designändringar. Det ger även betydligt färre kvalitetsproblem efter produktionsstart.

Den kanske största vinsten med detta arbetssätt är all den kunskap som tas fram vid utvärderingen av de alternativa designförslagen. Genom att förvalta denna kunskap på ett bra sätt byggs en bra bas för att ta fram bättre designalternativ vid utvecklingen av nästa produkt. Eftersom då redan en del av de grundläggande utvärderingarna har gjorts för en del av de alternativa designlösningarna, går det snabbare att bedöma realiserbarheten av dessa.

För att kunna uppnå detta krävs dock en hel del förändringar jämfört med traditionell produktutvecklingsarbete. Dels måste de som kommer att utföra produktionen och/eller underleverantörer bättre involveras under produktutvecklingsprocessen. Detta för att säkerställa hög producerbarhet, eftersom det kommer att påverka både tillverkningskostnad och tillförlitlighet. Dels måste robustheten och tillförlitligheten av olika designlösningar utvärderas tidigt under produktutvecklingen. Detta kräver helt andra metoder än vad som används vid traditionell produktutveckling, då verifiering av robusthet och tillförlitlighet normalt sker sent i produktutvecklingsprocessen – om det alls sker.

## Robusthet och tillförlitlighet

Traditionellt säkerställs tillförlitlighet av mönster- och kretskort genom att dessa tillverkas enligt erfarenhetsbaserade standarder. Någon egentlig tillförlitlighetstestning utförs sällan av dessa, utan kvaliteten säkerställs i första hand genom avsyningskrav. I den mån tillförlitlighetstestning genomförs under produktutveckling, så utförs den i allmänhet när produkten är färdigutvecklad. Detta i kombination med den omfattande outsourcingen inom elektronikindustrin har lett till att allt fler upplever problem med bristande tillförlitlighet av elektronikhårdvara. Risken för tillförlitlighetsproblem är extra stor vid användning av ny teknik. En mer utförlig beskrivning av orsakerna till den försämrade tillförlitligheten finns i bilaga 2.

För att säkerställa tillförlitlighet av elektronikhårdvara under produktutvecklingen krävs att designen som sådan har acceptabel tillförlitlighet (vid felfri produkt). Dessutom krävs att produkten kan tillverkas på ett reproducerbart sätt med hög yield och så få produktionsrelaterade defekter som möjligt.

För att verifiera att designen har en acceptabel tillförlitlighet krävs en bedömning av vilka belastningar som produkten kommer att utsättas för under hela dess livslängd och hur dessa belastningar påverkar risken för felutfall. Därför måste det företag som har ansvar för tillförlitligheten av produkten i fält vara med i denna process.

Därefter identifieras vilka felmekanismer som dessa belastningar kan orsaka med det valda byggsättet och vilka av dessa felmekanismer som kan vara kritiska för produktens tillförlitlighet. Det kan vara felmekanismer orsakade av tillfälliga överbelastningar eller felmekanismer orsakade av åldring och utmattning. Först därefter går det att avgöra hur tillförlitlighetstest skall utformas för att vara relevanta. I allmänhet krävs det att man tar fram ett tillförlitlighetstest för varje felmekanism.

Designen påverkar inte enbart tillförlitligheten utan också producerbarheten av produkten. En design som ligger på gränsen av vad en produktionsprocess klarar av, eller som innehåller ny teknik, innebär en förhöjd risk för produktionsrelaterade defekter i produkten. För de flesta produkter är det variationer i produktionsprocesserna som är den främsta anledningen till tillförlitlighetsproblem. Det är därför viktigt att tidigt under designfasen bedöma hur en designlösning påverkar producerbarheten.

Vid användning av ny teknik är det också viktigt att utvärdera vilken kvalificering och processkontroll som krävs för att säkerställa en hög och jämn kvalitet i produktionen. Detta

innebär att de som kommer att utföra produktionen bör vara med i designprocessen. De måste kunna ha möjlighet att påverka designen, men också ha möjlighet att i tid säkerställa kvaliteten om ny teknik ska användas.

HALT- och HASS-testningen är två relativt nya metoder som tagits fram för att under produktutvecklingsfasen förbättra robustheten hos produkten och hitta produktionsrelaterade defekter. HALT-test används tidigt under designfasen för att identifiera svagheter i design och materialval (designdefekter). Testningen bör helst utföras så snart fungerande prototyper tagits fram. Genom att utsätta dessa för stigande belastningar tills fel uppstår går det att identifiera produktens svagaste punkter. Därefter görs en bedömning om det med designändringar går att åtgärda dessa svagheter för att förbättra robustheten av produkten. Vid testet används stigande belastningar i form av kyla (ned till -100 °C), värme (upp till 200 °C), temperaturcykling (60 °C/min på testobjektet), vibration (6-axlig vibration upp till ca 65 g) och kombinerad temperaturcykling och vibration.

HASS-test är en avancerad form av Environmental Stress Screening (ESS) och används för att hitta produktionsrelaterade defekter hos produkter. Resultaten från ett tidigare utfört HALT-test utgör grund för att välja så höga belastningsnivåer som möjligt för att öka sannolikheten att defekter hittas. Genom att analysera felutfallet från HASS-testning går det att få information om vilken typ av defekter som kan förekomma. Därefter bedöms om det går att minska förekomsten av defekter genom designändringar eller bättre processkontroll i produktionslinorna. HASS-testning kan utföras dels vid uppstart av produktion och dels som stickprovskontroll under löpande produktion.

En annan viktig informationskälla för att förbättra tillförlitligheten är fältreturer. Felanalys av dessa ger information om tillförlitlighetsproblem relaterade till både design och produktion.

## Kompetens- och kunskapsuppbyggnad genom samverkan

Arbetsättet baserat på ”Set-based Concurrent Engineering” kräver kompetens att kunna bedöma hur val av material och byggsätt påverkar vilka felmekanismer som kommer att kunna påverka tillförlitligheten. Det kräver också kompetens att kunna bedöma hur verifieringen av tillförlitligheten och produktionsprocesser med relevanta tester under olika skeden av produktutvecklingen ska gå till.

Det är svårt för enskilda företag att ta fram den kunskap som krävs för detta arbetsätt. Syftet med EQS Centrum är därför att genom samverkan mellan elektronikföretag gemensamt bygga upp denna kunskapsbas (se bild 2). En viktig del under första året kommer att

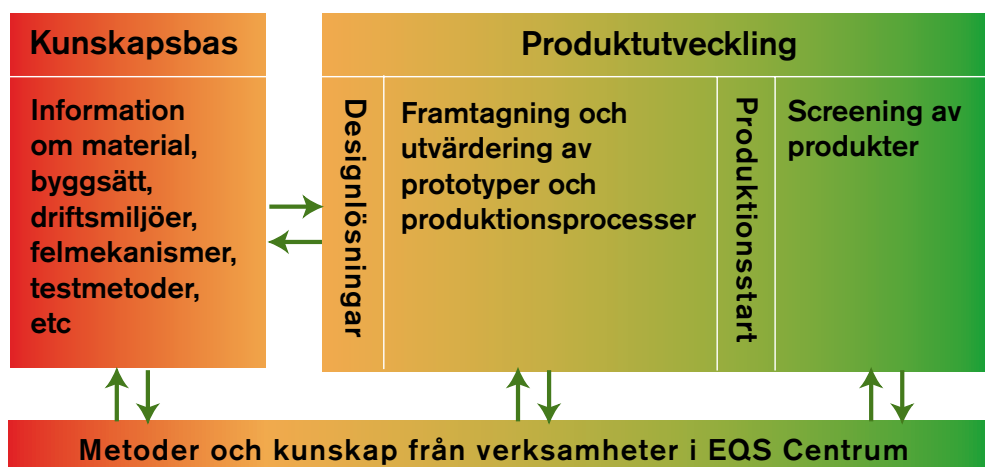


Bild 2 Genom samverkan mellan EQS Centrum och deltagande företag byggs en kunskapsbas upp för att snabbt och effektivt kunna arbeta med lean produktutveckling.

vara hur vi i praktiken tillämpar ”Set-based Concurrent Engineering” för att ta fram den bästa designlösningen. Andra viktiga delar av verksamheten kommer att vara forskning om nya tillförlitlighetsrisker vid användning av ny teknik och hur det går att säkerställa robusthet och tillförlitlighet under produktutveckling av elektronik hårdvara. Detta gäller även vid upphandling av elektronikprodukter från underleverantörer.

Arbetsgrupper kommer också att startas, exempelvis om karakterisering av driftsmiljö och/eller teststrategi för att verifiera tillförlitlighet och robusthet under produktutvecklingsprocessen. Målgrupp är företag med egen konstruktion av elektronik hårdvara och underleverantörer (legotillverkare) till dessa, men även företag som köper in färdigkonstruerad elektronik för användning i sina produkter.

EQS Centrum drivs gemensamt av IVF och KIMAB. Forskningen ska finansieras med medlemsavgifter samt – åtminstone initialt – med medel avsatta för institutens kompetensuppbyggnad som motfinansiering. Inriktningen på verksamheten kommer att bestämmas av en styrgrupp med representanter från medlemsföretagen. Villkoren för att delta i EQS Centrum finns beskrivna i dokumentet ”EQS Centrum: Elektronik kvalitet genom Samverkan – villkor och verksamhet”.

Målet är att verksamheten ska starta under första kvartalet av 2008. IVF och KIMAB har som förslag på forskningsprojekt för första året ”nya tillförlitlighetsrisker vid blyfri lödning” (se bilaga 1). IVF och KIMAB har under 2005 och 2006 utfört förstudier på dessa tre felmekanismer.

---

Mer information om EQS Centrum finns på <http://extra.swereaivf.se/eqs>

För ytterligare information kontakta:

Per-Erik Tegehall på Swerea IVF, [per-erik.tegehall@swerea.se](mailto:per-erik.tegehall@swerea.se), 031-706 61 48

Margareta Nylén på Swerea KIMAB, [margareta.nylen@swerea.se](mailto:margareta.nylen@swerea.se), 08-440 48 56.

## Bilaga 1

### Nya tillförlitlighetsrisker vid blyfri lödning

Det är framförallt tre felmekanismer för blyfria produkter som har uppmärksammats. Dessa är sprödbrott i lödfogar, bildning av tenn-whiskers samt bildning av Conductive Anodic Filaments (CAF) i mönsterkort. IVF och KIMAB har under 2005 och 2006 utfört förstudier på dessa tre felmekanismer. Förslag på fortsättningsprojekt presenteras nedan.

Felmekanismerna är inte unika för blyfri lödning men det är främst för blyfria produkter som de orsakar felutfall. För två av dem, sprödbrott i lödfogar och bildning av CAF, innebär reparation och omarbetning av lödfogar en extra stor risk för att de skall orsaka felutfall i fält. Hur reparation och omarbetning av lödfogar påverkar tillförlitligheten kommer därför vara en viktig del.

#### Sprödbrott i lödfogar

Sprödbrott kan uppstå i lödfogar vid snabb mekanisk belastning. En böjning av ett kretskort vid hantering eller att en produkt tappas i golvet kan vara tillräckligt för att ett sprödbrott ska ske. Den högre styvheten hos blyfria lod baserade på tenn, silver och koppar jämfört med tenn-blylod är orsaken till den förhöjda risken vid blyfri lödning. Framförallt är det lödfogar mot nickelytor (det vill säga lödytor belagda med nickel/guld) som är känsliga för denna typ av brott. Även lodets egenskaper samt tjockleken och sammansättningen av det intermetalliska skiktet som bildas i gränsskiktet mellan lod och lödyta påverkar risken för sprödbrott. Tjockare intermetalliska skikt ökar i allmänhet risken för sprödbrott och speciellt då dubbelskikt med två olika intermetalliska faser bildas. Tjockleken av det intermetalliska skiktet ökar med antalet lödcykler men tillväxt sker även vid temperaturer över 60 °C. Eftersom byte av en BGA-komponent i allmänhet kräver tre lödcykler kan det orsaka kraftig tillväxt av det intermetalliska skiktet på mönsterkortets lödytor.

Risken för sprödbrott minskar om man använder icke-lödmaskdefinierade lödytor men då ökar risken istället för att lödytorna dras loss från laminatet (pad cratering).

Lödfogar mot kopparytor har länge ansetts som riskfria för sprödbrott men även för dessa kan sprödbrott uppstå. Under vissa betingelser bildas små håligheter (Kirkendall voids) i det intermetalliska som ökar risken för sprödbrott. Ny forskning visar att i 5–10% av lödfogar mot koppar kan tillräckligt mycket håligheter uppstå för att orsaka felutfall i applikationer där lödfogarna utsätts för mekaniska belastningar. Störst är risken för applikationer

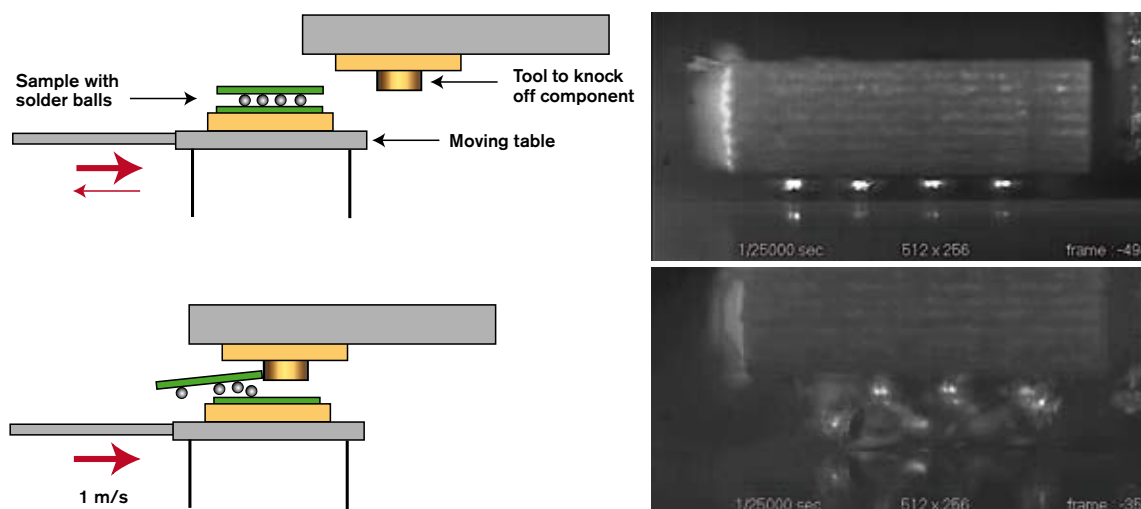


Bild 3 Skjuvning av komponent med en unik provmetod utvecklad för att testa risken för sprödbrott i lödfogar.

som utsätts för hög temperatur under lång tid, men det finns också exempel på omfattande bildning av håligheter vid låga temperaturer. Det finns till och med exempel på det efter endast ett års lagring vid rumstemperatur. Ännu är orsaken till att detta uppstår okänd, men det verkar vara kopplat till egenskaper hos kopparytan. Det går ofta att se stor variation mellan olika batcher från samma tillverkare och ibland till och med mellan olika lödytor på samma mönsterkort.

I ett fortsättningsprojekt kommer vi att utvärdera hur olika kombinationer av lod och metalliseringar på mönsterkort och komponenter samt antal lödcykler och åldring vid olika temperaturer påverkar risken för sprödbrott. KIMAB har tagit fram en unik metod för att kunna testa risken för sprödbrott på monterade komponenter genom skjuvning med mycket hög skjuvningshastighet (se bild 3).

### Bildning av tenn-whiskers

Bildning av tenn-whiskers är ett sedan tidigare välkänt problem som kan uppstå då vid pläteringar med rent tenn. Tenn-whiskers är hårliknande utväxter som består av rent tenn (se bild 4). Dessa kan orsaka kortslutningar. Botemedlet för att förhindra bildningen av whiskers har varit att använda beläggningar med ca 15 % bly. På grund av utfasningen av bly har många återgått till pläteringar med rent tenn på framförallt komponenter, men i vissa fall även på mönsterkort. Det finns tillverkare av metalliseringar som anger att deras beläggningar är whiskersfria. Tyvärr har flera undersökningar visat whiskers även på dessa metalliseringar. Någon grundläggande förståelse för whiskersbildning och tillväxt finns inte idag.

Det är dock inte på detta som en studie inom EQS skulle fokusera, utan på att utveckla metoder för att förutsäga risken för whiskers i en metallisering. Det omfattar även produktionsmetoder och materialkombinationer där risken för whiskers kan minimeras. Tidigare studier har indikerat möjligheter att styra processer så att whiskers kan undvikas. Exempel på viktiga faktorer att kontrollera är renhet i beläggningsprocessen, legering och jämnhet i underliggande skikt, lagring, värmebehandling och hantering.

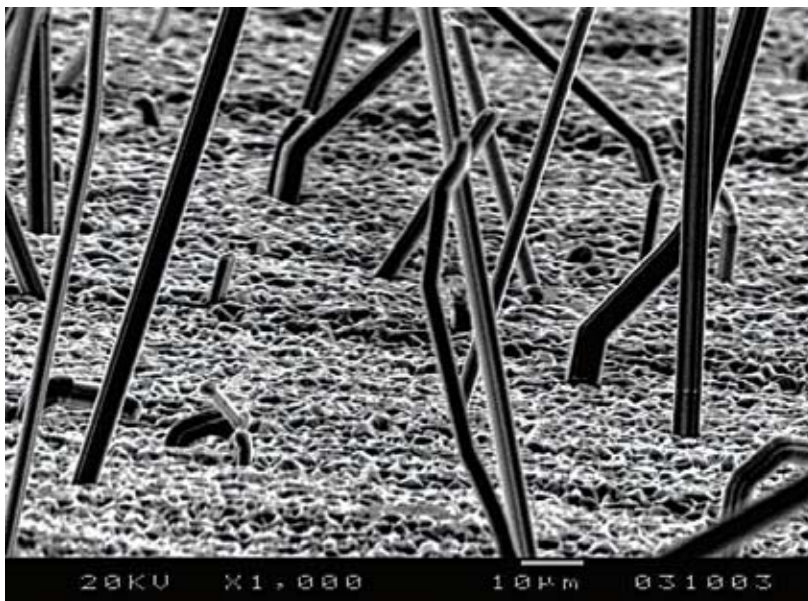


Bild 4 Fotografi av whiskers tagen med svepelektronmikroskop.

## Bildning av Conductive Anodic Filaments (CAF) i mönsterkort

Den högre lödtemperaturen som används vid blyfri lödning medför en större påfrestning på mönsterkortet som kan resultera i delamineringar mellan glasfibrer och epoxyn i laminatet. Om glasfibrerna ligger mellan två viahålspläteringar kan läckströmmar uppstå längs glasfibrerna. Vid den viahålsplätering som har positiv potential kommer kopparjoner att bildas och dessa kommer att diffundera längs glasfibrerna. Med tiden blir kopparjonskoncentrationen så hög att kortslutning uppstår. Denna felmekanism kallas CAF som är en förkortning för ”Conductive Anodic Filament”.

Traditionella FR4-laminat är benägna för denna felmekanism, ju fler lager och lödcykler desto större är risken för att CAF skall uppstå. Fuktupptag i mönsterkortet innan lödningen ökar också risken för CAF. Det är därför extra stor risk för att reparation och omarbetning av lödfogar kan orsaka CAF. Ju längre tid det har gått från att kretskortet tillverkades tills reparation och omarbetning utförs, desto större är risken för CAF eftersom mer fukt har hunnit tas upp. Nya laminat som tål högre lödtemperaturer har utvecklats, men dessa kan ha sämre egenskaper ur andra synpunkter som exempelvis högre sprödhet, vilket ger sämre egenskaper vid borring.

Den utförda förstudien visade att fuktupptag i mönsterkortet innan lödning kraftigt ökar risken för CAF. I fortsättningsprojektet kommer olika laminat, som tagits fram som ska vara mer CAF-resistenta, att testas. Projektet omfattar också tester kring hur reparation och omarbetning påverkar risken för att CAF ska bildas.

## Bilaga 2

### Orsaker till försämrade tillförlitlighet av elektronik hårdvara

Det kommer allt fler larmrapporter om bristande tillförlitlighet av elektronik hårdvara. Orsaken till den försämrade tillförlitligheten står främst att finna i det arbetssätt som används för att säkerställa kvaliteten. Traditionellt säkerställs den genom att komponenter, mönsterkort och kretskort etcetera tillverkas och/eller testas enligt erfarenhetsbaserade standarder.

Komponenters kvalitet säkerställs huvudsakligen genom att dessa testas enligt JEDEC-JESD47, "Stress-Test-Driven Qualification of Integrated Circuits". Denna standard innehåller ett stort antal olika stress-test för att detektera komponenter med defekter. Felmekanismer som orsakas av åldrings- och utmattningsmekanismer upptäcks normalt inte med dessa test.

Mönster- och kretskorts kvalitet säkerställs genom att dessa i allmänhet tillverkas enligt kraven i IPC-standarder (exempelvis 6012 för mönsterkort och J-STD-001 för lödda kretskort). Dessa standarder innehåller främst avsyningskrav och IPC påpekar att uppfyllande av dessa krav inte är någon garanti för att produkten kommer att vara tillförlitlig, utan ska snarare ses som minimikrav. För produkter med höga tillförlitlighetskrav eller då ny teknik används bör kompletterande tillförlitlighetstest utföras.

Den omfattande "outsourcingen" inom elektronikindustrin, som har medfört att det blir allt fler parter involverade i produktframtagningsskedjan, har också starkt bidragit till de ökande kvalitetsproblemen. Den allvarligaste konsekvensen av outsourcingen är att var och en fokuserar på att optimera sin egen verksamhet. För att öka sin egen vinst vill de använda så billiga material och/eller tillverkningsmetoder som möjligt. Samtidigt finns starka drivkrafter för att implementera ny teknik, exempelvis för att förbättra prestanda eller på grund av lagkrav. Att tillverka och testa enligt traditionella standarder passar då in för att minimera kostnaderna. Dock innebär det samtidigt en stor risk för att kraven och testerna inte är relevanta för den nya tekniken.

Följden av att alla i produktframtagningsskedjan förlitar sig på att det finns relevanta standarder och tillförlitlighetstest har blivit att det ofta saknas någon i produktframtagningsskedjan som har tillräcklig helhetssyn. Det saknas ett utpekat ansvar för att säkerställa att såväl delkomponenter som slutprodukten uppfyller uppställda (eller förväntade) kvalitetskrav. Samtidigt som byggsätten utvecklas allt snabbare och blir allt mer avancerade och komplexa har arbetssättet och kunnandet för att säkerställa tillförlitligheten inte hängt med i utvecklingen. Snarare har den tagit ett steg tillbaka som följd av outsourcingen. Ett illustrativt och lärorikt exempel på hur fel det kan gå är införandet av röd fosfor som flamskyddsmedel i komponenter.

### Lärdomar från användning av röd fosfor som flamskyddsmedel

Ett bra exempel på vikten av en genomtänkt strategi för hur tillförlitlighet hos elektronikprodukter säkerställs är de tillförlitlighetsproblem som uppstod vid användning av röd fosfor som flamskyddsmedel i plastkomponenter. Minst 13 komponenttillverkare har använt röd fosfor för tillverkning av mer än en miljard komponenter under början av 2000-talet. Ett av de företag som drabbades av tillförlitlighetsproblem är Fujitsu, som använde komponenter med röd fosfor i hårddiskenheter. De har kostat dem över 1 miljard kronor i skadestånd till sina kunder. Rent tekniskt orsakades tillförlitlighetsproblemen av att röd fosfor sakta omvandlas till fosforsyra i närvaro av syre och vatten. Detta leder till korrosion av metaller i komponenterna som sedan resulterar i läckströmmar eller i värsta fall kortslutning.

En mer intressant frågeställning är dock hur dessa komponenter kunde släppas på marknaden. En analys av detta har gjorts av Japan Science and Technology Agency (<http://shippai.jst.go.jp/en/Detail?fn=0&id=CA1000624&>). Deras slutsats är att den främsta orsaken till felbedömningen är följderna av den långtgående outsourcingen och den starka prispress som den har lett till. Var och en i produktframtagningsskedjan har fokuserat på sina egna processer och ingen har tagit ansvar för helheten. För att minska time-to-market och

pressa kostnaderna har tillförlitlighetstestningen minskats och företagen har gjort sig av med personal med tillförlitlighetskunnande. Den tillförlitlighetstestning som ändå har gjorts har inte räckt till på grund av att de använt ”outdated evaluation technology”.

De flesta komponenttillverkare testar och kvalificerar sina komponenter enligt JEDEC JESD47, vilket innehåller en uppsättning standardtest. Dessa tester användes vid kvalificeringen av röd fosfor som flamskyddsmedel. Det är tydligt angivet i standarden att om det finns risk för nya felmekanismer så är det inte tillräckligt att använda dessa test. Då ska test ske enligt JESD34, vilket innebär att kritiska felmekanismer måste identifieras och utifrån dessa ska relevanta tillförlitlighetstest designas. Ingen av de 13 komponenttillverkare som har använt röd fosfor gjorde detta. Ändå var den nya felmekanismen väl känd och beskriven i patenten för användning av röd fosfor som flamskyddsmedel i elektronikkomponenter.

De slutsatser som Japan Science and Technology Agency dragit gäller effekterna av outsourcingen vid komponenttillverkning. Slutsatserna är kanske i ännu högre grad giltiga vid mönster- och kretskortstillverkning, eftersom ofta ingen tillförlitlighetstestning alls görs av mönster- och kretskort.