

Sören Isaksson

Påverkan av rök på elektronik

BRANDFORSK projekt 631-962

Sören Isaksson

Påverkan av rök på elektronik

BRANDFORSK projekt 631-962

Abstract

Influence of smoke on electronic circuits

The scope of this project has been a literature review of state-of-the-art on acute damage to energized electronic equipment influenced by a fire and possible protective measures.

A fire produces smoke, heat and water etc. which all are detrimental to the function of electronic equipment. Corrosion and increased contact resistance caused by soot and chlorides are well known problems. What has been more recently discovered are the acute failures that may be caused by leakage currents between leads or to ground. Studies have shown that modern digital technology is more sensitive to this type of influence than previous generations of electronics.

The standardised classification of the environment for electronics does not include fire influence as a parameter. In general the environment is adjusted to suit the electronics, not the other way around. This makes the equipment more sensitive to abnormal situations such as for example a fire.

Tests have shown that leakage currents can develop after a short time during a fire. The leakage can be either through the smoke in the gas phase or via deposits. The design of circuits does affect the sensitivity. Also, some types of components are more sensitive than others. Electric current and circuit impedance are also important factors. A general conclusion is that a shorter distance between leads increases the sensitivity. The electric fields around DC-leads has been shown to attract soot, creating carbon bridges and uneven soot depositions.

It has been shown that choice of for example cable insulation material or the application of conformal coatings on circuits can affect smoke damage potential. The degree of protection varies though, implying that testing is needed.

Traditional fire protection techniques can also be used, but the protection objectives must be chosen carefully. During one test intended to investigate smoke effects a broken circuit was observed at a moderately elevated temperature of 75°C. The fault was not possible to find when the circuit was examined later. The acceptance criteria for fire barriers is usually 180°C, i.e. a much higher temperature than most electronics can tolerate.

Key words: fire, smoke, leakage currents, electronic circuits, electronic components, corrosivity, safety, risk analysis

**Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2000:19
ISBN 91-7848-817-6
ISSN 0284-5172
Borås 2000

**Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 2000:19

Postal address:
Box 857, S-501 15 BORÅS,
Sweden
Telephone + 46 33 16 50 00
Telex 36252 Testing S
Telefax + 46 33 13 55 02

Innehållsförteckning

	Förord	4
1	Bakgrund	5
2	Sammanfattning	6
3	Klassificering av elektronik och miljöer	7
3.1	Allmänt	7
3.2	Temperatur	8
3.3	Fukthalt och kondensation	8
3.4	Solstrålning	9
3.5	Kemiska föroreningar	9
4	Vetenskapliga undersökningar	12
4.1	Arbete på Sandia National Laboratories	12
4.2	Arbete vid VTT	19
4.3	Arbete på Lucent Technologies	19
4.4	Arbete på FM	20
4.5	Statusrapport från OECD NEA	21
5	Diskussion och slutsatser	23
6	Framtida insatser	24
	Referenser	27

Förord

Denna litteraturstudie har finansierats av BRANDFORSK.

En referensgrupp har medverkat i styrningen av projektets innehåll. Referensgruppen bestod av följande medlemmar:

Lars Lindström, Skandia

Tommy Magnusson, Vattenfall

Anders Fernholm, Elektriska Nämnden

Johan Åqvist, Försvarets Materielverk

Ett antal personer som aktivt bidragit i projektet bör särskilt nämnas. Dels Anders Mannikoff vid enheten för Fysik och Elteknik på SP, med kunskaper om miljötålighets- och konstruktionsstandarder för elektronik samt dels Magnus Palm, vid SP:s enhet för Kemi och Materialteknik med kunskaper om mätning av korrosionspotential.

1 Bakgrund

Mikroelektronik används numera på de flesta ställen i vårt samhälle för att styra och reglera processer. Det sitter kretsar i vitvaror och fordon som vi sällan lägger märke till och inom processindustri är det mesta idag elektronikstyr. Telefonväxlar, flygtrafik, sjöfart, tågtrafik, stridsledning och betalsystem är idag helt beroende av elektroniska system.

Det är viktigt att den elektroniska utrustningen fungerar som avsett, och framför allt att den inte felfungerar på ett sätt som framkallar fara eller försvårar en incident. Fel med gemensamma källor, som t ex att en brand i ett system slår ut reservsystemet genom påverkan av brandrök och värme, ska undvikas i den mån det finns kunskap.

Det ställs därför krav på såväl hårdvara som mjukvara för att säkerställa att den fungerar som avsett och att den är anpassad till den miljö den sitter i. Det finns t ex en standard kallad IEC 60880 [1] för mjukvara till säkerhetsrelaterad utrustning i kärnkraftverk. För hårdvaran finns EN- [2] och IEC-standarder [3, 4] som klassificerar miljön utifrån faktorer som fukthalt, temperatur, damm, föroreningar och vibrationer. Oftast anpassar man dock inte utrustningen till miljön, utan anpassar istället miljön till utrustningen. Generellt ställs det därför höga krav på renhet och klimatkontroll i utrymmen för elektronisk utrustning.

Tålighet mot påverkan från brand har däremot inte ingått i miljöklassificeringen av elektronik. Traditionellt tänker man främst på värme och korrosion i detta sammanhang. Elektroniken utvecklas ständigt mot mindre komponenter med mer koncentrerad montering, vilket kan öka känsligheten. I försök har det inträffat att kretsar brutits då de utsatts för en temperatur av 75°C och det finns försök som visar att kretsar kan kortslutas på kort tid då de utsätts för rök.

Projektet avser att sammanställa de rön som hittills framkommit, för att avgöra om det går att kvantifiera påverkan av brand på elektronik och om det går att fastställa några konsekvenslindrande eller förebyggande åtgärder som kan vidtas.

2 Sammanfattning

I projektet har en litteraturstudie gjorts om kunskapsnivån kring akuta skador på spänningssatt elektronisk utrustning som utsätts för påverkan från brand och möjliga förebyggande eller skadebegränsande åtgärder.

Branden ger upphov till bl a rök, värme och vatten, vilka alla kan påverka funktionen hos en elektronisk utrustning negativt. Korrosion och ökat övergångsmotstånd i kontaktytor orsakade av sot och klorider är sedan länge kända problem. Det som mer nyligen upptäckts är de akuta felfunktioner som kan orsakas av överledning mellan ledare eller kortslutning. Studier har visat att modern digital teknik är mer känslig för denna typ av påverkan än vad tidigare elektronikgenerationer varit.

De miljöklassificeringar som görs för elektronik tar inte hänsyn till brand som en miljöparameter. Det finns också en benägenhet att snarare styra miljön så att den passar känslig elektronik än att konstruera elektroniken för högre tålighet så att den passar den aktuella miljön. Detta medför att utrustningen är mer känslig för onormala driftfall som t ex brand.

Försök har visat att överledning kan uppstå efter kort tid i samband med brand. Överledningen kan ske både genom röken i gasfas, vilket är en reversibel skada och genom att deposition av sot skapar ledande förbindelser. I vissa fall ökar sotbeläggningens ledande förmåga med ökande relativ fukthalt, men för grafitiskt kol är ledningsförmågan oförändrat hög oavsett fukthalt.

Beroende på elektronikens utformning kan den vara mer eller mindre känslig för brandpåverkan. Vissa konstruktioner på komponenter är känsligare än andra. Likaså kan kretsars strömstyrka och impedans påverka skadeutfallet. Generellt innebär ett kortare avstånd mellan ledare en ökad störningskänslighet. De elektriska fälten kring likströmsledare drar till sig röken och kan ge upphov till såväl sotbryggor som en starkt ojämn sotdeposition.

I förebyggande syfte kan val av t ex kabelisolationsmaterial ha stor påverkan på rökens skadepotential. Ytbeläggningar på kretskort kan också ha en gynnsam inverkan, men alla typer är inte lika lämpliga. Man kan också minska sannolikheten för att redundanta system slås ut av ett gemensamt enkelfel i form av brand genom t ex avståndssparation, brandavskiljning eller ventilation. Det finns dock inga generella rekommendationer att finna då kunskapsläget är för dåligt.

I ett försök observerades brott på en krets vid en måttligt förhöjd temperatur på 75°C. Ett fel som det efter försöket visade sig gå att finna orsaken till. Temperaturkriteriet för brandavskiljande konstruktioner är normalt 180°C vilket är långt över de temperaturer elektroniken anpassas för.

3 Klassificering av elektronik och miljöer

3.1 Allmänt

Det finns ett antal EN- och IEC-standarder i vilka miljöklassificeringar specificeras. Några av de miljöegenskaper som behandlas och till en del är brandrelaterade är:

- temperatur och temperaturförändringshastighet,
- relativ och absolut fukthalt samt kondensation,
- solstrålning och
- kemiska föroreningar.

Miljöklassificeringen görs utifrån den förväntade normala miljön i vilken elektroniken placeras. Ingen hänsyn tas därmed till brand. I tabell 1 anges huvudindelningen av miljöer enligt IEC 654-1 [3]

Tabell 1 Huvudindelning av miljöer enligt IEC 654-1.

A	Inomhus med reglerad temperatur och fuktighet
B	Inomhus med reglerad temperatur
C	Inomhus utan klimatkontroll
D	Utomhus

I respektive huvudgrupp görs en indelning i klimatklasser. Exempel ur IEC 721-3 [4] ges i tabell 2.

Tabell 2 Utdrag ur gränsvärden för klimatklasser i IEC 721-3. Inom parantes anges klassificeringen enligt IEC 654-1.

	Enhet	3K1 ¹ (A1)	3K2 ² (B1)	3K3 ³ (B2)	3K4 ⁴ (B3)
Högsta temperatur	°C	+25	+30	+40	+40
Högsta relativa luftfuktighet	%	75	75	85	95
Högsta absoluta luftfuktighet	g/m ³	15	22	25	29
Solstrålning	W/m ²	500	700	700	700
Temperaturändringshastighet	°C/min	0,1	0,5	0,5	0,5
Kondensation		nej	nej	nej	ja

¹ exempel på lokal enligt IEC 721-3, fullt luftkonditionerade lokaler

² exempel på lokal enligt IEC 721-3, kontinuerligt temperaturkontrollerade lokaler, exempel på verksamhet enligt EN 50178, tabell 7 är kommersiella utrymmen, dator- och utrustningsrum med noggrant kontrollerat klimat.

³ exempel på lokal enligt IEC 721-3, temperaturkontrollerade lokaler med intermittent uppvärmning och nedkylning, exempel på verksamhet enligt EN 50178, tabell 7 är väderskyddade kontroll- och utrustningsrum som inte har luftkonditionering.

⁴ exempel på lokal enligt IEC 721-3, som punkt ³ ovan men något mer okontrollerad fuktighet

De olika egenskaperna behandlas dock inte ur aspekten brand. En kort genomgång av respektive miljöegenskapsklassificering i förhållande till aktuella brandförhållanden görs i de följande kapitlen.

3.2 Temperatur

Normalt kvalificeras elektronik för temperaturintervall från en nedre gräns på +5 - +15 °C upp till en övre gräns på +30 - +40 °C.

Under en brand uppnås naturligtvis betydligt högre temperaturer på den icke brandutsatta sidan av en konstruktion. Utrustning som placerats nära taket i ett rum kan komma att utsättas för betydligt högre temperaturer än +40°C, även om de sitter på ett stort horisontellt avstånd från brandkällan.

Brandavskiljande konstruktioner, som t ex väggar, tak, dörrar och genomföringar ugnspövas. Genomföringar är tätningssystem t ex för genomgående rör och kablar. Under provningen utgör temperaturen på den icke brandutsatta sidan av konstruktionen ett kriterium för egenskapen isolering. Internationellt är temperaturgränsen 180°C i enskild punkt men i Sverige tillämpas gränsvärdet 330°C för produkterna obrännbara dörrar och genomföringar.

De temperaturgränser som används för klassificeringen av miljötåligheten för elektronik är som synes betydligt lägre än de temperaturer som accepteras på den kalla sidan vid provning av brandavskiljande konstruktioner.

3.3 Fukthalt och kondensation

För inomhusmiljöer anges från 5 - 20% RF upp till 75 - 95% RF samt absoluta fukthalter på 1 - 4 g/m³ upp till 15 - 29 g/m³.

Vid restvärdesräddning efter en brand rekommenderas att den relativa fukthalten sänks under 40 % för att bromsa och förhindra korrosionsangrepp [5].

I samband med brand kan vatten komma från olika håll. Fullständig förbränning av 1 kg metan ger t ex 2,25 kg vatten. Manuell brandsläckning kan kräva stora mängder vatten, särskilt om branden är svår att komma åt. Tillgången på vatten och fukt efter en brand torde därmed vida överstiga den mängd som behövs för att orsaka korrosion. Det är däremot inte troligt att fukthalten överstiger den som den elektroniska utrustningen är kvalificerad för förrän släckning inleds.

I samband med brandsläckning med fasta gassläcksystem kan luftens fuktinnehåll kondensera vid den snabba nedkylning som uppstår. Detta är särskilt märkbart med tryck-kondenserade släckmedel som koldioxid och HFC-föreningar. I en rapport av Arvidson och Persson [6] redovisas en serie försök med koldioxid och halon 1301. I dessa försök visades att även med munstycken placerade i rummet så sjunker temperaturen så pass mycket inuti utrustningsskåp att kondensation kan uppstå. Några uppmätta temperaturer visas i tabell 3.

Tabell 3 Temperaturer uppmätta vid släckförsök med koldioxid och halon 1301.

Försök	1	2	3	4	5	6	7
Släckmedel	CO ₂	CO ₂	Halon 1301	CO ₂	CO ₂	CO ₂	Halon 1301
Luftfuktighet före utlösning [% Rh]	60	60	40	40	40	40	40
Temp före utlösning [°C]	27	18	20	18	18	18	18
Lägsta temp i rummet [°C]	-85	-90	0	-90	-67	-90	-1
Lägsta temp i skåp med forcerad ventilation [°C]	+16	+10	+23	+8	+13	+9	+22
Lägsta temp i skåp med naturlig ventilation [°C]	-10	-18	+16	-20	-8	-20	+14
Lägsta temp i skåp IP54 [°C]	+7	+1	+19	+1	+7	+1	+16

3.4 Solstrålning

Inomhus dimensioneras för solstrålning på 0,5 - 0,7 kW/m². I första hand är strålningskraven avsedda att förhindra användningen av material som inte tål långvarig exponering för UV-strålning. Avsikten är inte att ge en tålighet mot uppvärmning. Strålningen 0,7 kW/m² motsvarar en maximal temperatur på 60°C. Nivån på solstrålningen är omkring etthundra gånger lägre än den som erhålls i utkanten av flammen vid en vanlig diffusionsbrand.

Det är inte bara nivån på strålningen som har betydelse utan även den tid som utrustningen utsätts för den aktuella strålningsnivån. Gränsvärdena för miljöklassning är satta efter att utrustningen utsätts under en lång tid. Vid kortvarig exponering kan nivån antagligen vara betydligt högre, men det beror naturligtvis på på vilket sätt utrustningen reagerar vid uppvärmning. Driver signaler, är det längdutvidgningen som är ett problem. mjuknar isolationsmaterial så att det börjar krypa, slår överhettningsskydd ifrån eller börjar utrustningen brinna? För antändning av plastmaterial av den typ som används inom elektronik krävs strålningsnivåer på omkring 15 - 25 kW/m² samt en s k pilotflamma beroende på typ av material och om det innehåller flamskyddsmedel.

3.5 Kemiska föroreningar

I avsnitt 5.2.15.2 i EN 50178:1997 definieras s k "pollution degree". Normalt tillämpas nedsmutsningsgrad 2 enligt tabell 4 nedan.

Tabell 4 Klassificering av nedsmutsning enligt 5.2.15.2 i EN 50178:1997 (översatt från engelska av författaren).

1	Ingen nedsmutsning eller endast torr, icke ledande nedsmutsning. Nedsmutsningen har ingen påverkan.
2	Normalt endast icke-ledande nedsmutsning. En temporär ledning p g a kondensation kan förväntas, när utrustningen ej är i drift.
3	Ledande nedsmutsning eller torr icke-ledande nedsmutsning som blir ledande p g a kondensation kan förväntas.
4	Nedsmutsningen orsakar kontinuerlig ledning p g a ledande partiklar, regn eller snö.

I tabell 5 ges några exempel på gränsvärden för förekomsten av föroreningar enligt IEC 721-3. Observera att föroreningsgraden anges i massa per volym luft och avser exponering under en antagen livslängd för utrustningen. Det har inte påträffats några påvisade samband mellan de vedertaget acceptabla nivåerna för långtidsexponering med de depositioner som kan förväntas på utrustningen. Därmed kan miljöstandarderna inte relateras till gränsvärden för depositioner eller uppmätta resultat efter bränder eller brandförsök.

Tabell 5 Utdrag ur klassificering av nedsmutsande kemiskt aktiva substanser enligt IEC 721-3 (översatt från engelska av författaren).

	Enhet	3C1R	3C1L	3C1	3C2	
					medel	max
Klor	mg/m ³	0,001	0,01	0,1	0,1	0,3
Väteklorid	mg/m ³	0,001	0,01	0,1	0,1	0,5
Vätefluorid	mg/m ³	0,001	0,003	0,003	0,01	0,03
Kväveoxider	mg/m ³	0,01	0,1	0,1	0,5	1,0

En metod för att mäta förekomsten av salt, kallad "Breslemetoden" har utarbetats i Sverige. Den används normalt för att mäta salthalten på stålytor som ska målas, men även för att mäta förekomsten av korrosiva beläggningar efter brand. Resultatet erhålls som massa per ytenhet och jämförs normalt med de gränsvärden som presenteras i tabell 6. Något absolut mått på korrosionshastigheten kan dock inte erhållas eftersom en mängd olika faktorer spelar in, t ex luftfuktighet, temperatur, närvaro av andra föroreningar än de mätbara, materialets struktur och kemiska sammansättning etc.

Factory Mutual har en motsvarande klassificering som den i tabell 6, men med fler nivåer och något andra gränser, se kapitel 4.4.

Tabell 6 Klassificering av saltbeläggningar efter mätning enligt Breslemetoden.

Normala värden	0 - 5 µg/cm ²
Osäkert område ytterligare mätning intill föreslås	6 - 9 µg/cm ²
Sanering nödvändig	<10 µg/cm ²

Det är troligt att olika former av ytseläggning på elektronik kan ge skydd i samband med brand. Produkterna "Solder Mask" och PC 52 nämns i ABB:s konstruktionslathund [7]. I en rapport som presenteras i kapitel 4.1.3 nämns att det finns 75 olika ytseläggningsprodukter på den amerikanska marknaden [8].

Dammsäker kapsling utgör också ett skydd mot ledande beläggningar. En del skydd för elektronik som avser att skydda mot långvarig exponering, typ guldbeläggning av kontaktytor kommer antagligen att ha ringa skyddseffekt mot överledning på grund av rök.

Krav på s k "clearances and creepage distances" ställs i 5.2.15.1 i EN 50178:1997. Dessa väljs bl a beroende på nedsmutsningsgrad, överspänningskategori, och typ av krets enligt HD 625.1 S1. Ytseläggningar definieras enligt krav i 4.1 i IEC 664-3.

Efter brand är det i de flesta fall möjligt att rengöra elektronik så att den åter går att använda. Enligt uppgifter från ett amerikanskt företag [9] kan man utgå från att det kostar omkring 20% av nypris att återställa utrustning som utsatts för låg till medelhög nedsmutsning. Om graden av nedsmutsning är högre, eller om inte en måttligt nedsmutsad utrustning tas om hand inom kort tid ökar kostnaderna till 50% eller mer av nypris. För att begränsa kostnaden för avbrott i produktionen kan det i vissa fall vara ekonomiskt försvarbart att rengöra utrustning även om det kostar lika mycket som att beställa ny.

4 Vetenskapliga undersökningar

4.1 Arbete på Sandia National Laboratories

Med anledning av att man inom USA:s kärnkraftsindustri vill byta ut den befintliga analoga kontrollutrustningen till digital elektronik har den amerikanska kärnkraftsinspektionen, USNRC, initierat ett forskningsprogram.

Målsättningen har varit att undersöka om ny utrustning är tillräckligt störningstålig för att få lov att användas i ett kärnkraftverk. Oak Ridge National Laboratory undersöker elektromagnetisk kompatibilitet, samt påverkan från hög temperatur och hög luftfuktighet. Sandia National Laboratories har arbetat med de brandrelaterade frågorna på såväl kretskorts- som komponentnivå.

Ett antal publikationer har producerats av Sandia under de senaste åren och behandlas efter varandra i kronologisk ordning.

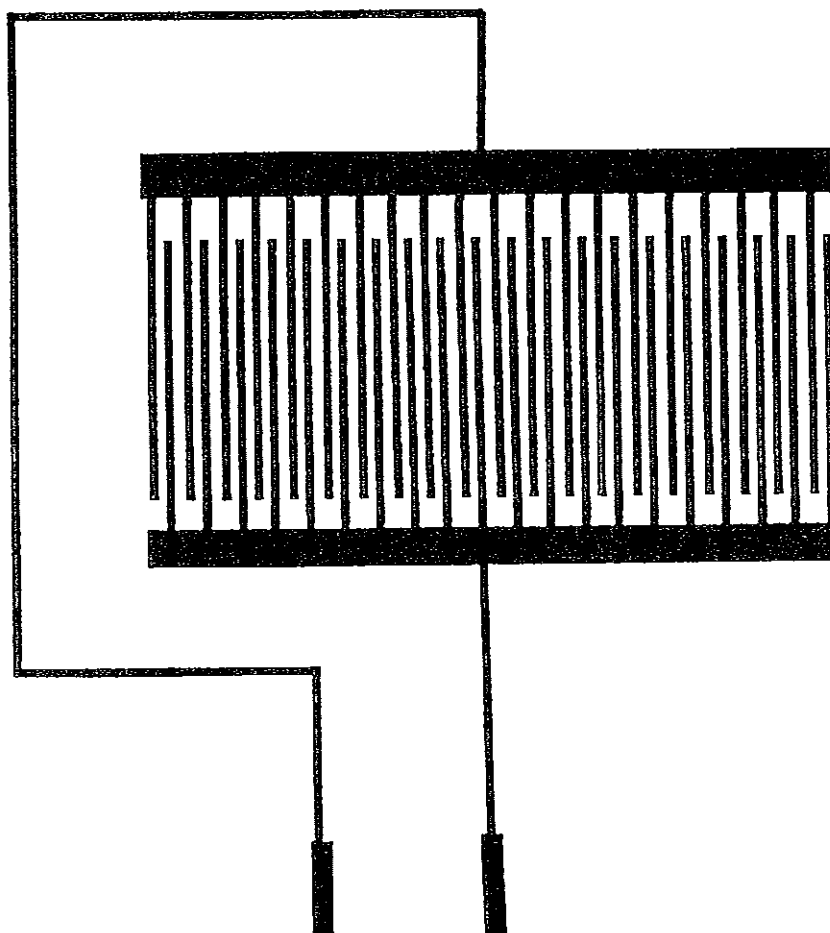
4.1.1 Circuit Bridging of Components by Smoke

Rapporten Circuit Bridging of Components by Smoke [10] publicerades 1996 för att summera det arbete inom rökpåverkan på elektronik som bedrivits vid Sandia National Laboratories sedan 1994.

Det första problemet som projektgruppen ställdes inför var att definiera vilken rök som skulle användas. Man kom fram till att det beror på bränslets typ och geometri, brandens storlek och varaktighet samt andra faktorer som fukthalt och användningen av släckmedel.

Undersökningar av elektroniskåp har visat att "brandbelastningen" som i huvudsak består av kabelisolationsmaterial normalt är omkring $2,5 \text{ kg/m}^3$, men kan vara upp till $3,7 \text{ kg/m}^3$. Om man antar att 1 – 15% av det tillgängliga bränslet förbränns så innebär det att den effektiva bränsledensiteten varierar mellan 26 - 560 g/m^3 .

Man testade ytmonterade kretsar som LCC (ceramic leadless chip carrier), CFP (ceramic flat package), SOIC (plastic small outline integrated package) och PLC samt kretsar monterade i genomgående hål på kretskort som CDIP (ceramic dual-in-line package), PDIP (plastic dual-in-line package) och TOC (transistor outline can). Även skammönster, se figur 1, en optisk isolator och minneskretsar ingick i försöken. Fyra uppsättningar användes i varje försök, en oskyddad och en lackad utsattes för rök, en oskyddad placerades i en låda med en fungerande kylfläkt och en oskyddad utgjorde referens utanför testkammaren.



Figur 1 Kretskort med kammönster utvecklat för att mäta överledning p g a depositioner

De faktorer som varierades i försöken var:

- bränslemängd, 3 g/m^3 eller 100 g/m^3 ,
- förbränningstemperatur, exponering för 25 kW/m^2 eller 50 kW/m^2 ,
- fukthalt, 20% RF eller 75% RF,
- släckmedel, efter vissa försök sprutades CO_2 in i testkammaren och
- galvaniska material, i vissa försök hade man galvaniserad plåt ovanför elektroniken för att se om zinkklorid bildas och om den påverkade resultatet.

Mätningar gjordes av temperatur, fukthalt, rökdeposition, röktäthet och massförlust bränsle under försöken. Sotet analyserades kemiskt efter försök.

Som bränsle i försöken användes en blandning av olika kabelmaterial som används inom USA:s kärnkraftsindustri. Ingående polymerer var etenpropengummi (EPR), klor-sulfonerad polyeten (CSPE), polyvinylklorid (PVC), etenpropendienmonomer (EPDM) samt korsbunden polyeten (XLPE).

Resultaten indikerar att för den mindre mängden bränsle återhämtade sig elektroniken efter att röken vädrats bort, medan den större mängden i många fall resulterade i kvarstående fel. I övrigt var de viktigaste parametrarna som bidrog till att fel uppstod hög fukthalt, hög bränslemängd och flammmande förbränning (i motsats till glödande förbränning).

Andra erfarenheter var att:

- elektronik i förpackningar (packages) av metall och keram var mer okänsliga än plastförpackade. En teori är att det i högre grad beror på plastens känslighet för fukt än på överledning orsakad av rök,
- känsligheten hos kammönstren ökade med ökad pålagd spänning,
- SOIC och DIP-kretsarna påverkades inte vid den lägre bränslemängden men båda fallerade vid den högre,
- överledning mellan olika ledare kan orsakas av exponering för rök, inte endast av depositioner,
- lackade kretsar var mer okänsliga än oskyddade samt
- placering av kretsar i låda kan ge ett ökat skydd utöver öppet exponerade, men inte om lådan ventileras med kylfläkt.

4.1.2 Effects of Smoke on Functional Circuits

Känsligheten mot rök för ett antal olika funktionella kretsar testades genom att dessa utsattes för rök medan mätningar utfördes på dem. Rapporten "Effects of Smoke on Functional Circuits" [11] är utgiven av Sandia och uppdragsgivaren USNRC.

Kortet som användes var ursprungligen utvecklat för att utvärdera alternativ lödningsteknik. På kortet fanns aktiva kretsar i form av HCLV (high current low voltage), HSD (high speed digital), HVLC (high voltage low current) och HF LPF (high-frequency low-pass filter) samt HF TL (high-frequency transmission line), PGA (pin grid array) och kammönster för att kontrollera överledning. De aktiva kretsarna fanns både som PTH (plated-through hole) d v s lödda på "baksidan" i genomgående hål och SMT (surface-mounted) d v s ytmonterade.

I varje försök användes fyra kort. Ett oskyddat och ett polyuretanlackat kort utsattes för rök, och en likadan uppsättning fungerade som referens. Alla korten konditionerades först i 75% RF varefter rökkammaren på 0.2 m³ avskiljdes och korten i denna utsattes för rökexponering i en timme. Därefter vädrades röken ut och samtliga kort hölls vid 75% RF under de följande 23 timmarna.

Röken producerades genom att bränslet utsattes för en strålningskälla. Bränslet bestod av nedmalt isolationsmaterial representativt för kabeltyper som används i amerikanska kärnkraftverk. Tre olika nivåer på bränsle, 3, 25 och 50 g/m³, samt två olika strålningsnivåer, 25 och 50 kW/m² användes. Bränslet utsattes för strålning i 15 minuter. Vid den högre strålningsnivån antändes pyrolysgaserna efter två minuter med en gaslåga.

Kemisk analys av bränsleresterna visade att av den ursprungliga bränslemängden återstod 23.04% aska, 0.95% brom, 12.6% klor och 0.49% fluor.

En semikvantitativ analys visade på förekomst av aluminium, antimon, bor, calcium, koppar, järn, bly, magnesium, nickel, kisel, silver, titan och zink. Kisel förekom i störst mängd följt av bly, järn och magnesium. Värmevärdet var 24 MJ/kg.

En redovisning av nedsmutsningen som funktion av mängden bränsle och det värmefflöde som bränslet utsattes för ges i tabell 7.

Tabell 7 Nedsmutsning av vertikala och horisontella ytor som funktion av bränslemängd och pålagt värmefflöde

Förbrukad/Tillgänglig bränslemängd [g/g]	Bränslemängd per rumsvolym [g/m ³]	Värmefflöde [kW/m ²]	Nedsmutsning på vertikal yta [µg/m ²]	Nedsmutsning på horisontell yta [µg/m ²]
0,27/0,6	3	25	0,4	2,8
0,49/0,6	3	50	0,9	3,4
3,12/5	25	25	2,1	45,3
3,95/5	25	50	4,2	17,6
6,49/10	50	25	3,2	94,8
7,34/10	50	50	7,3	58,5

Filterpapper med 4,25 cm diameter (14,2 cm²) placerades på rökkammarens golv. Analys av halogener gav resultat vilka presenteras i tabell 8 nedan.

Tabell 8 Halogenkoncentration på ytor som funktion av bränslemängd och pålagt värmefflöde

Tillgänglig bränslemängd [g]	Värmefflöde [kW/m ²]	Klorid [µg/cm ²]	Bromid [µg/cm ²]	Fluorid [µg/cm ²]
0,6	25	6,7	0,1	0
0,6	50	1,7	0,4	0,02
5	25	6,5	6,8	0
5	50	5,1	4,7	0,1
10	25	10,4	12,8	0,1
10	50	6,7	11,6	0
opåverkat filter		0,3	0	0,05

Under försöken skedde automatisk mätning av kretsarnas status. Mätmetod varierade beroende på typ av krets.

Generella erfarenheter var att oskyddade kretsar var känsligare än skyddade. Dock kunde fel även uppmätas på skyddade kretsar.

De oskyddade **HVLC**-kretsarna påverkades i de flesta försöken, både PTH och SMT. Viss återhämtning skedde efteråt, men inte till ursprungsnivån. Stigande bränslemängd och högre värmepåverkan på bränslet gav oftast mer påverkan på kretsarna, dock finns det undantag. Den lackade PTH-kretsen påverkades endast vid 50 g/m³ bränsle och 50 kW/m². SMT inte alls.

Under försöken hölls strömstyrkan konstant på **HCLV**-kretsarna. Spänningsnivån ändrades mest för oskyddad SMT, där den steg med som mest 1,7 %. I övriga fall var förändringarna en tiopotens mindre.

På **HSD**-kretsarna kunde ingen påverkan noteras. De komponenter som användes var av FAST TTL typ. Andra försök har visat att CMOS-komponenter troligen hade påverkats i de aktuella försöken.

Ingen påverkan registrerades på **HF LPF** -kretsarna. Dock var den automatiska mätningen begränsad till en frekvens som inte var den mest utslagsgivande.

Överledning mellan parallella transmissionslinjer registrerades på det oskyddade **HF TL**-kortet under tiden det utsattes för rök vid de två högre bränslemängderna. Effekterna var inte kvarstående.

Läckströmmen på kretskort mättes mellan två rader med genomgående hål (PGA) samt på ett kort med kammönster. Mätningarna visade på överledning. I en del fall var överledningen större då samma mängd bränsle utsattes för den lägre värmepåverkan.

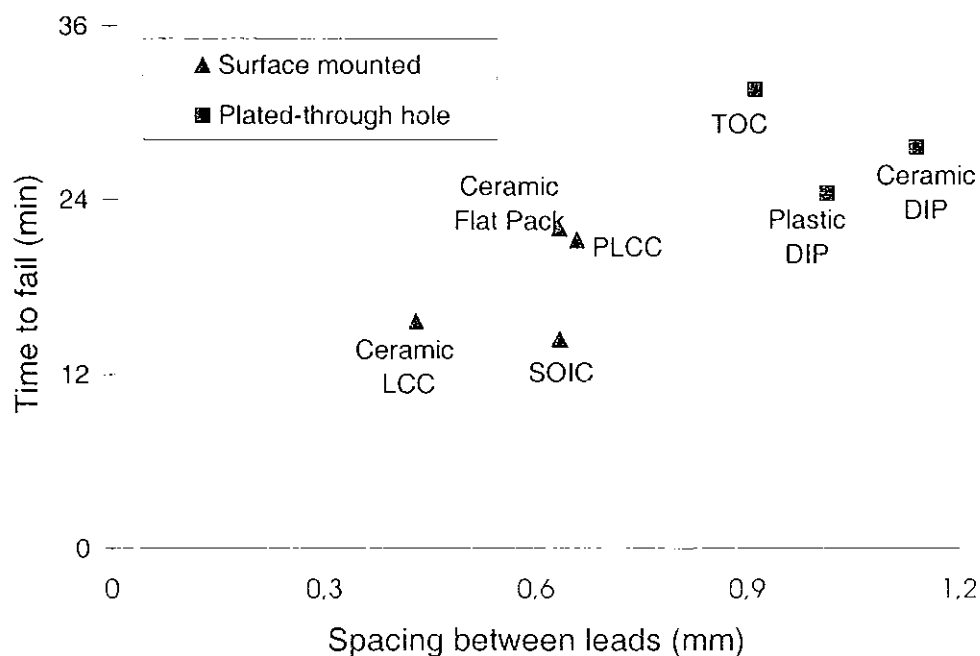
Slutsatsen är att tre olika omedelbara effekter av rökpåverkan har undersökt: (i) sänkt resistans genom överledning, (ii) ökad resistans genom angrepp på lödningar och kontaktytor samt (iii) ökad strökapacitans.

Resultaten från HVLC, läckagemätningar, HF TL och HSD utgjorde en mätning av sänkt resistans. HCLV-kretsen mätte ökad resistans och HF PLF strökapacitans.

Den tydligaste effekten av rökpåverkan var minskad resistans vilket resulterade i överledning. De känsligaste kretsarna var de med hög ingångsimpedans. Viss påverkan på HCLV-kretsar av SMT-typ kunde noteras medan någon strökapacitans inte kunde noteras.

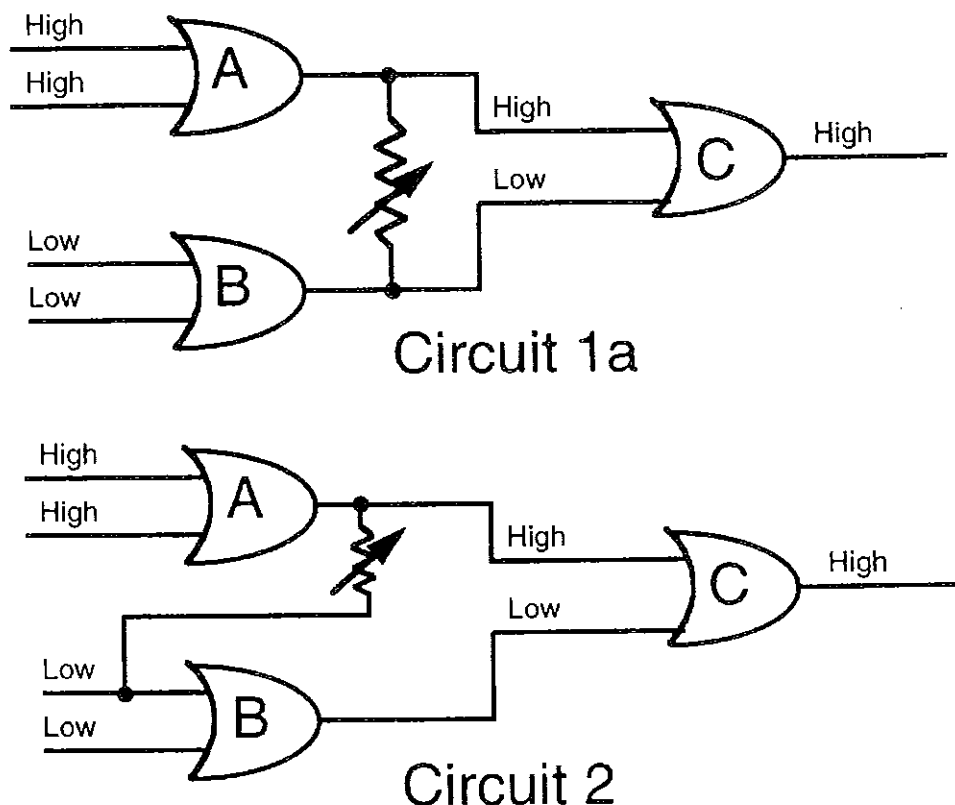
Ytskiktet med polyuretan skyddade i de flesta fall mot påverkan från rök i försöken.

Inga generella slutsatser verkar kunna dras angående skillnader mellan olika monterings-tekniker, PTH eller SMT, däremot är avståndet mellan ledarna avgörande för tid till överledning, se figur 2.



Figur 2 Tid till skada som funktion av avståndet mellan ledare på kretsar [12]

De försök som redovisas under avsnitt 4.1.2 visade att överledning orsakad av minskad ytresistans och ledande rökgaser var en påtaglig effekt. I ett appendix till rapporten [11] redovisas försök med kretsar med OCH- respektive ELLER-grindar som genomfördes för att se hur låg överledningsresistans som behövs för att kretsen ska ändra sig. Olika varianter på kortslutningsvägar testades med ett variabelt motstånd. Ett exempel ges i figur 3.



Figur 3 Exempel på kopplingsschema för att testa ELLER-grindar [11].

I försöken användes TTL-kretsar av typ LS och FAST, CMOS-kretsar av typ MG, HC och FACT samt ECL-kretsar av typ 100K och 10H.

Resultaten visar att den kritiska nivån varierar från 10 Ω upp till drygt 1000 Ω mellan de olika kretsarna samt att de även varierade för samma krets beroende på mellan vilka ledare kortslutningen gjordes. Det visade sig också att den kritiska resistansen korrelerade med utgående strömstyrka. Det var särskilt tydligt för CMOS-kretsarna där drivströmmen varierade med matningsspänningen. Grindar med högre strömstyrka har lättare för att leverera tillräcklig strömstyrka för att upprätthålla spänningen trots överledning.

4.1.3 Measurements of the effect of smoke on active circuits

Tidskriftsartikeln [8] behandlar en undersökning av olika skyddande ytbeläggningar samt en sammanställning av det arbete som beskrivs i 4.1.2.

Man har gjort en undersökning av om ytbeläggningar kan minska eller ta bort störningarna orsakade av rökpåverkan. Enligt uppgift finns det i USA 75 olika märken att välja mellan.

I studien användes ett märke från var och en av de fem vanligaste grupperna enligt tabell 9. I samtliga fall utfördes beläggningen av samma företag, en firma specialiserad på denna typ av arbete.

Tabell 9 Ytskiktstyper som provades.

Huvudbeståndsdel i ytskiktet	Filmtjocklek [mm]	Appliceringsmetod
Akryl	0,064	doppning
Epoxy	0,064	doppning
Parylen	0,019	vakuumdeposition
Polyuretan	0,064	doppning
Silikon	0,13	doppning

Kretskort och komponenter utsattes för rök under förhållanden liknande de som använts i tidigare försök, d v s rökstring och exponering, endast rökexponering följt av ventileringsring. Bränslemängden var 200 g/m^3 . Vissa detaljer om försöksgenomförandet är ofullständigt beskrivna i artikeln.

Alla ytbeläggningar medförde en förbättrad tålighet mot rökpåverkan. Under försöken fungerade akryl, parylen och polyuretanbeläggningarna bäst, medan de epoxy- och silikonbaserade systemen fungerade sämre. Förutom överledning observerades även bruten krets i flera försök under rökexponeringen. Efteråt var kretsarna åter slutna, varför man tror att det eventuellt kan vara hög temperatur, upp till 75°C , i exponeringskammaren som orsakat den brutna kretsen.

En svaghet med att använda ytbeläggningar som skydd mot rök är att kontakter inte skyddas. Under de försök som Sandia hittills har gjort har kontakterna till kretskorten varit skyddade. Man anser dock kontakterna vara en potentiell svaghet.

Vid diskussion med Steven Nowlen på Sandia poängterade han att de olika ytbeläggningarna gav mycket varierande skyddsnivå [13]. Man bör alltså på något sätt verifiera vilket skydd den beläggning man använder ger. Det finns också andra aspekter som behöver belysas som att beläggningarna tillför material som kan förändra elektronikens brännbarhetsegenskaper och även mängden och egenskaperna hos den rök som alstras vid brand. Det kan också noteras att ytbeläggningar inte skyddar om överhörningsfenomen som strökapacitans.

4.1.4 LDRD Report: Smoke effects on electrical equipment

I de senast rapporterade försöken alstrades rök i 15 minuter varefter elektroniken utsattes för röken i ytterligare 1 timme i exponeringskammaren [14]. Därefter ventilerades röken ut och ersattes med luft med 75% RF.

Elektroniken utgjordes av såväl likströms- som växelströmskretsar, samt olika komponenter. I rapporten nämns bränslemängder från $10 - 75 \text{ g/m}^3$.

Under försöken med likströmskretsarna fann man att det byggdes upp bryggor av sot mellan två parallella kretskort. Styrkan på bryggorna ökade med ökande spänning. I samband med ventileringen efter försöken förstördes dessa sotbryggor av luftströmmarna. Anledningen till att man upptäckte fenomenet var att man kunde mäta fortsatt höga läckströmmar fastän röktheten sjunkit till näst intill noll. Rent visuellt kunde man då konstatera vad detta berodde på.

På fristående kretskort med likspänningsmatning kunde man se att rökpartiklarna avsattes intill ledarna. Ju högre spänning ju mer koncentrerad till ledarens närhet var depositionen. En mer jämnt utspridd deposition gav högre strömläckage efter ventileringen. Detta orsakades av att rökpartiklarnas ledningsförmåga ökade med ökad RF och att den jämnt fördelade depositionen ledde bättre än den ojämnt fördelade.

Växelströmskretsar med hög spänning var mer benägna att kortslutas då röktheten var hög i luften. Röken deponerades inte alls på samma sätt som på likspänningskretsarna. När väl röken deponerats beror ledningsförmågan på sotbryggor, depositionsmonster och RF.

Elektroniska fel beror på kretsarnas konstruktion. Kretsar med hög impedans är känsliga för påverkan. De minneskretsar av CMOS-typ som testades visade sig vara känsliga. Det kan noteras att felen inte inträffade under rökexponeringen, utan efter ventileringen då RF ökade.

En av avsikterna med försöksserien var att utveckla modeller för överledning orsakad av rök. Man fann dock att ledningsförmågan inte bara berodde på rökens ledningsförmåga, utan även på elektroniken. Spänningsnivån, utrustningens geometri, rökens sammansättning och luft rörelser har alla betydelse för om utrustningen ska klara sig eller ej. Rökpartiklarnas storlek varierar och de kan koagulera till en storlek som kan kortsluta komponenter. Den relativa fukthalten har som tidigare nämnts också stor betydelse för påverkan.

4.2 Arbete vid VTT

Ett projekt angående brandsäkerhet inom kärnkraftsindustrin bedrivs av Applied Electronics Laboratory vid Helsingfors Tekniska universitet och det finska institutet VTT sedan 1998. Ett delprojekt berör elektroniks känslighet för rök.

Man har i den första delen av projektet försökt återskapa de försök som utförts av Sandia [15]. Ett antal olika elektroniska komponenter utsattes för rök från PVC-kabelisolering. Under rökexponeringen mättes som mest en sänkning i resistans med en faktor 300 på kretskorten med kammönster.

Kretsar med hög resistens påverkades mest. På tryckta kort påverkades insignalens impedans och isolationsresistensen med en faktor 10 – 100. IC-kretsar och kontaktresistensen påverkades inte märkbart. Efter att röken ventilerats ut var den största avvikelser i isolationsresistens en faktor 10.

Forskningsprogrammet fortsätter under 1999 och 2000. Akut påverkan av rök och värme på befintlig och ny elektronik i kärnkraftverk ska undersökas. Känsligheten ska jämföras mellan de olika generationerna av elektronik, bl a vad gäller strökapacitans. Luftens isolationsförmåga då den förorenas av rök ska dessutom undersökas med avseende på högspänningsanläggningar.

4.3 Arbete på Lucent Technologies

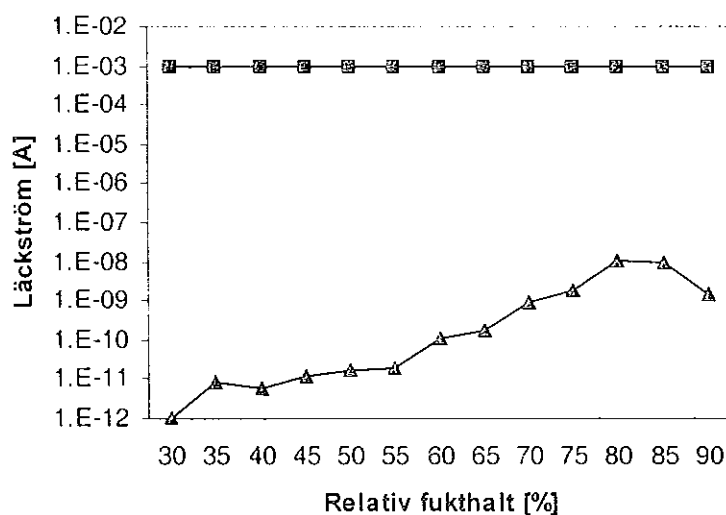
Vid Bell Laboratories som ägs av Lucent Technologies har man också intresserat sig för hur rök påverkar elektronik.

Tillvägagångssättet skiljer sig något från det som beskrivits i kapitel 4.1 och 4.2 på så sätt att endast kretskort användes, och att kretskorten inte var spänningssatta då de

utsattes för brandgaserna utan spänningssattes efteråt [16]. Kretsarna utgjordes av kretskort med kammönster, utvecklade för att mäta läckströmmar p g a nedsmutsning.

Som bränsle användes sex olika typer av kablar. Isolationsmaterialet utgjordes av plaster från tre grupper, polyolefiner (t ex PE), PVC-ämnen samt fluorpolymerer. Isolationsmaterial från kablar förbrändes vid 935°C i en rörugn med 5 L luftgenomströmning per minut. Rökgaserna leddes in i en exponeringskammare. I exponeringskammaren utsattes i varje försök en krets för rök under en timme. I försöken användes 1 gram isolering inklusive ledare i varje försök. Baserat på exponeringskammarens volym motsvarar mängden kabel 30 g/m³. Försök gjordes både med ytter- respektive innerisolationsmaterial var för sig och med hela kablar. Läckströmmen för kretsarna uppmättes under kontrollerade förhållanden med den relativa fukthalten varierande från 30 – 90%.

Man observerade två olika resultat beroende på isolationsmaterialens egenskaper. I en del fall var läckströmmen oberoende av den relativa fukthalten, medan det i andra fall fanns ett exponentiellt beroende, se figur 4. Anledningen till skillnaden är att grafitiskt kol inte påverkas av den relativa fukthalten medan depositioner med mycket joner gör det. Grafitiskt kol kan bildas bl a vid förbränning av olja. Under kriget i Kuwait observerades hur partiklar från brinnande oljekällor orsakade överledning.



Figur 4 Överst i grafen ett exempel på mätresultatet då depositionen troligen utgjordes av grafitiskt kol. Nedre kurvan visar påverkan från ett material som ger upphov till joner.

I studien fann man ett samband mellan mängden halogener i isolationsmaterialet, pH och ledningsförmåga uppmätt enligt IEC 754-2 [17]. Däremot fann man att även material utan halogeninnehåll som uppfyller kraven enligt IEC 754-2 kunde orsaka höga läckströmmar. Faktorer som påverkar läckströmmens storlek är isolationsmaterialens kemi och förbränningsförhållandet vilket i sin tur påverkar rökgasernas kemi, partiklarnas storlek och hur partiklarna deponeras.

4.4 Arbete på FM

Factory Mutual Research Corporation (FMRC) har sedan slutet av 1980-talet intresserat sig för "nonthermal damage". I en publikation från 1987 [18] nämns såväl korrosion som elektrisk överledning som potentiella skador efter brand.

Man strävar efter att skaffa allmän kunskap om fenomenet "nonthermal damage" så att man kan förutsäga risker, visa på möjligheterna till förebyggande åtgärder, samt metoder för restvärdesräddning efter skada. Man fokuserar på elektronik och textil.

FM anser att risk för "nonthermal damage" föreligger under följande förhållanden [19]:

- gastemperatur högre än 140°F (60°C),
- RF över 30% vid 68°F (20°C),
- koncentrationen av klorider på ytor högre än 9,8 mg/m², eller
- koncentrationen i gasfas av väteklorid högre än 100 ppm, eller av kvävedioxid, ättikssyra, vätefluorid och svaveldioxid högre än 1000 ppm.

Försök visar att flamskyddade polymerer kan ge upphov till tiotals gånger högre korrosivitet än motsvarande polymer utan flamskydd [20]. FM har gjort en definition av vilka åtgärder som krävs vid olika nedsmutsning med kloridjoner, se tabell 10.

Tabell 10 Nedsmutsningsnivåer för ytdepositioner av kloridjoner på elektronisk utrustning [20].

Kloridjoner [mikrogram/cm ²]	Skada/rengöring/renovering
2	Inga skador förväntas. Ingen rengöring eller renovering behövs.
<30	Utrustningen kan enkelt renoveras så att den åter kan användas genom rengöring, med liten påverkan på långsiktig tillförlitlighet.
30 till 90	Utrustningen kan renoveras så att den åter kan användas genom rengöring, under förutsättning att inga ovanliga korrosionsproblem uppstått och om utrustningen snabbt hamnat i en kontrollerad miljö efter branden.
>90	Effekten av rengöring minskar och kostnaden för rengöringen närmar sig kostnaden för att ersätta utrustningen. Utrustning som varit utsatt för höga halter av klorider kan kräva särskilt strikt miljö efter även efter rengöring för att kunna bibehålla långsiktig funktionalitet.

Enligt Dr. Robert Bill på FM har man inom organisationen fokuserat sina insatser inom elektronikområdet mot halvledarindustrin [21]. Provningsmetoder har utvecklats för att prova material som inte sprider brand och som ger upphov till begränsad mängd rök. En av metoderna har nyligen blivit en amerikansk standard, ASTM E2058, och kommer eventuellt även att bli en NFPA-standard med beteckningen NFPA 287.

4.5 Statusrapport från OECD NEA

Nuclear Energy Agency (NEA) har givit ut en "State of the art report" om brandrisk-analys med särskild bärning på elektronisk utrustning [22].

OECD-länderna ombads skicka information om hur man tagit hänsyn till brandfenomen i riskanalyser för kärnkraftsanläggningar, vilka typer av antaganden som gjorts, vilka modeller som använts, samt vilken forskning som gjorts om skadekriterier. De länder som svarat är Finland, Frankrike, Tyskland, Ungern, Japan, Spanien, Schweiz, Storbritannien och USA.

Det arbete som citeras angående skadekriterier för elektronik är det som utförts av Sandia, Oak Ridge och VTT. Detta arbete presenteras i kapitel 4.1 och 4.2 ovan.

Länderna ombads också skicka in uppgifter om elektronikrelaterade bränder. Det finns exempel på bränder där brandorsakade kortslutningar lett till felaktiga signaler i kontrollutrustning. Dessa kortslutningar har dock orsakats av att isolationsmaterialet bränts bort på kablar, inte av överledning orsakad av rök. Erfarenheterna man har av bränder är från anläggningar med analog elektronik. I rapporten poängteras att man bör vara försiktig i samband med det snabba införandet av ny digital teknik för övervakning och kontroll inom kärnkraftsindustrin.

5 Diskussion och slutsatser

Försök har visat att elektronik kan felfunktionera på olika sätt. En del av dessa sätt är sedan lång tid välkända, t ex korrosionsangrepp som resulterar i metallförlust och ökad övergångsresistens. Andra felmoder har inte undersökts närmare förrän mitten av 1990-talet. Det gäller överledning mellan ledare orsakad av ledande depositioner av sot i rök, överledning via rök samt avbrott i kretsar vid måttligt förhöjda temperaturer.

Modern digital elektronik är mer känslig för rökpåverkan än analog elektronik. Mängden brännbart material som behövs för att orsaka akuta rökrelaterade skador motsvarar endast någon procent av den mängd som finns i ett normalt elektroniskåp i ett kärnkraftverk.

Kortslutning och läckströmmar är de dominerande akuta problemen då elektronik utsätts för brandrök. I försök har överledning observerats inom 15 minuter från det att rökproduktion startar. De akuta skadorna på elektronik utsätts för rök kan orsakas av ett antal fenomen:

- överledning via partiklar som deponeras på ytan,
- överledning via luften då dess ledningsförmåga ökar på grund av rökgasernas innehåll av joner och
- bildningen av kolbryggor mellan kretskort med likström.

De grundläggande mekanismerna är således kända, men de är inte kvantifierbara så att beräkningar som förutsäger skadeförlopp kan göras.

Finns det då några generella skyddsrekommendationer som kan göras till köpare och användare av elektronik? För att skydda redundant utrustning från gemensamma fel orsakade av brand bör man separera dem så att risken för samtidig rök- och värme- påverkan minskas. Utrustning med stor känslighet eller stor säkerhetsmässig betydelse bör inte i onödan placeras tillsammans med annan utrustning som kan orsaka skada.

Det finns inte tillräcklig kunskap för att modellera påverkan av sot och brandrök på elektronik. Bland annat saknas representativa modeller för rökstring, transport och deposition. Utifrån försök har det visats att depositionen av sot påverkas av geometri, luftströmlinjer och elektriska fält. Rökens och sotets ledande förmåga påverkas av förbränningsförhållandena för bränslet och den relativa fukthalten. Sot från material med halogeninnehåll har många joner och dess ledningsförmåga påverkas av den relativa fukthalten. Andra material kan ge upphov till sot av grafitiskt kol. Den grafitiska soten har hög ledningsförmåga, men påverkas inte av ändring i relativ fukthalt.

Det saknas också generella skadekriterier för den elektroniska utrustningen. Komponenter och kretsar med korta avstånd mellan ledare, samt kretsar med hög impedans har visat sig vara mest känsliga för påverkan. Det är också skillnad på olika komponenters känslighet beroende på deras konstruktion och deras normala funktion.

Olika sätt att skydda elektroniken har provats. Att bygga in elektroniken i en låda kan ge ett visst skydd, men då får det inte finnas fläktar eller annan ventilation som drar in röken i lådan. Ytbeläggningar på kretsar kan både ge en ringa och en påtaglig förstärkning av skyddsnivån mot akut påverkan av rök. Utan att en lämplig provningsmetod har utarbetats är det dock inte möjligt att avgöra vilka som är lämpliga och vilka som är mindre bra. Dessutom kan ytbeläggningar ge andra effekter som förändrade brandegenskaper vilket måste utredas närmare. Kontaktpunkterna på kretskort utgör en potentiell svag länk som inte undersökts på ett systematiskt sätt.

Kontakterna kan inte heller göras allt för täta och komplicerade eftersom det under sammansättning och för att kunna underhålla utrustningen måste det vara möjligt att byta ut komponenter och kretsar.

Den miljöklassificering som finns inom elektronikvärlden syftar till att klassificera normala miljöer. Brand är inte någon faktor som anses normal och som man tar hänsyn till. Tendensen idag är snarare att man anpassar miljön till elektroniken än tvärt om. Detta innebär potentiellt en större störningskänslighet för onormal påverkan som t ex brand.

Korrosionstestmetoder som IEC 754-2 i vilken man mäter pH och ledningsförmåga i en vattenlösning samt metoder som mäter massförlust på metallkuponger är till för att mäta korrosionspotentialen, men kan inte användas för att förutsäga potentialen för överledning p g a rök-gaser eller sotdepositioner.

6 Framtida insatser

Det har visats att rök och måttliga temperaturhöjningar kan leda till akuta felfunktioner på framför allt digital elektronik. Sådana felfunktioner kan vara ett problem i applikationer där säkerhet och kontinuitet är viktiga.

Orsakerna till fel och skador är genom olika organisationers forskningsinsatser till stor del kvalitativt utredda. Däremot saknas tillräcklig mängd data för att kvantifiera gränsvärden för bränsle och skadekriterier. Framtida forskningsinsatser kan ha olika inriktning beroende på vilken skyddsstrategi som väljs. Områden där mer kunskap behövs är:

- konstruktion av robust elektronik;
 - utveckling av brandrelaterade miljökriterier;
 - utveckling av konstruktioner som tål brandpåverkan;
 - utveckling av skyddskriterier för ytbeläggningar;
- brand och bränsle;
 - utarbetande av kriterier för brandsäkra materialval;
 - utveckling av modeller för brandpåverkan;
 - utveckling av skadekriterier för elektronik;
- skadebegränsande åtgärder;
 - kvantifiering av brandteknisk avskiljning;
 - utveckling av skyddskriterier för ventilationssystem;
 - kvantifiering av system för lokal kapsling eller inbyggnad, samt
 - kreditering för detektion och släckning.

Valet bör göras i samråd mellan brukare, tillverkare och forskare för att nå maximal nytta. Hänsyn bör då tas till möjlig skadepotential och marknadens möjligheter och vilja att göra något åt eventuella problem samt den praktiska tillämpbarheten för olika skyddsalternativ sett ur alla aspekter, inklusive kostnadseffektivitet, tillgänglighet etc. Nedan utvecklas ytterligare ett antal förslag i oprioriterad ordning, sedda ur brandtekniskt perspektiv.

Det bör utföras en undersökning av vilket skydd mot påverkan under brand som ges av de olika miljöklassningar för elektronik som redan existerar idag.

Modeller behöver utvecklas för påverkan av rök på elektronik. Detta innebär att man behöver lösa frågor som:

- hur mycket rök genereras av branden per tidsenhet,
- vart tar röken vägen,
- hur mycket rök ackumuleras i närheten av kritiska komponenter,
- vad är gränsvärdet för luftburna rökpartiklar,
- vad är gränsvärdet för rökpartiklar som deponeras på ytor och
- hur påverkar släckinsatser och åtgärder efter brand skadepotentialen?

Det positiva bidraget från förebyggande och konsekvenslindrande åtgärder bör också undersökas.

Kan korrosionsprovning på elektronik enligt viss metod korreleras med skyddsnivån i samband med brand?

Är det möjligt att kontrollera materialval på ett sådant sätt som FM tillämpar för renrum? Går det att förhindra att felaktiga material används på ett sätt som kan orsaka skada?

I vilken mån skyddar traditionella brandavskiljande konstruktioner? Vid standardprovning av brandavskiljande konstruktioner tillämpas fortfarande acceptanskriterier som utvecklades för att skydda bomullslager på 1800-talet. I kriterierna ingår maximalt acceptabel temperatur, förhindrande av stickflammar och att värmegenomsläppet inte får antända en bomullstuss. Däremot ingår inte alls att förhindra rökspridning. Trots det innebär en separerande brandavskiljande konstruktion ett ganska stort skydd mot ohindrad rökspridning. Eventuellt kan det vara aktuellt att se över kriterierna för avskiljande konstruktioner så att de anpassas till skadekriterierna för det man vill skydda. Det var ju faktiskt det man gjorde med bomullslagren för mer än 100 år sedan. Försäkringsbolaget Wasa och IBM lade ner en del arbete i början av 1990-talet på att ta fram acceptanskriterier för brandavskiljning anpassade till behoven för datorhallar. Det är dock inte undersökt hur stor spridning dessa lösningar fick.

I vilken grad kan man kreditera sig för avståndsseparation? Inom kärnkraftsindustrin tillämpas avståndsseparation mellan redundanta säkerhetssystem. Vilket avstånd som krävs varierar mellan olika länder. Det längsta är 20 fot (6 m) vilket tillämpas i USA. I Sverige tillämpades 3 fot horisontellt och 5 fot vertikalt då de första svenska verken byggdes. De aktuella avstånden har dimensionerats för att förhindra termiska skador orsakade av strålning eller varma gaser. Skydd mot akuta skador på elektronik p g a rök har inte övervägts i sammanhanget.

Är snabb detektion kombinerad med andra åtgärder som automatisk eller manuell släckning, bruten spänningstillförsel ett skyddsalternativ? Med hjälp av individuell rökdetektion i varje skåp kan man snabbt detektera en brand i dess tidiga skede. Detta skyddsalternativ hänger även ihop med hur ventilationen löses. Det kan vara svårt att detektera brand då luftomsättningen är hög. Samtidigt innebär hög luftomsättning att röken snabbt späds ut, vilket är positivt ur skyddssynpunkt. Med hjälp av filter på till- och frånluftsöppningarna på skåp kan röktransporten mellan skåp begränsas. Beroende på vilket val av ventilationsstrategi som görs kan ventilationen vara både gynnsam och potentiellt skadeförstärkande. Termiskt aktiverade rökspjäll i ventilationskanaler kommer ju t ex inte att stänga förrän långt efter att stora mängder rök har alstrats.

Det kan också vara möjligt att skydda elektronik genom att bygga in det i skåp. Detta kan dock skapa andra problem som hur man ska bli av med värme.

Ett skyddsalternativ som undersökts i viss omfattning är ytbeläggningar. Det har visat sig att skyddsnivån mellan olika typer kan variera betydligt.

Om ytbeläggningar ska användas som skydd mot rökpåverkan bör en lämplig provningsmetod tas fram som skiljer de olämpliga från dem med goda egenskaper. Man måste också ta ett helhetsgrepp då beläggningar kan förändra elektronikens brandspridningsegenskaper betydligt. Dessutom kan de ställa till andra produktionstekniska problem, samt försvåra underhåll.

Ett område som har stort behov av utveckling är hur man konstruerar elektronik som är robust mot nedsmutsning utan att vara mycket dyrare. Dessutom borde det vara möjligt att utforma elektroniken så att den är mindre benägen att ge upphov till eller sprida brand, och så att den rök som bildas inte lika lätt orsakar kortslutning. Man bör med rätt kunskap kunna välja bort olämpliga konstruktionslösningar på komponenter som gör dem störningskänsliga. I kritiska applikationer kan man välja större avstånd mellan ledare, och utforma kontakter så att de inte skadas så lätt.

Av ovanstående förslag framgår att det finns många sätt att minska störningskänsligheten för elektronisk utrustning. Det poängteras att den bästa vägen till framgång torde vara att ett samarbete etableras mellan brandteknisk expertis, representanter för tillverkningsindustrin samt intresserade slutanvändare av utrustningen.

Referenser

- [1] IEC 60880 Software for computers important to safety for nuclear power plants
- [2] SS-EN 50178, Elektronikutrustning, inklusive kraftelektronik, i elektriska starkströmsinstallationer, Svenska Elektriska Kommissionen 1997
- [3] IEC 654-1 1993, kolla referens med AM.
- [4] IEC 721-3, kolla referens med AM.
- [5] Restvärdesräddning, SBF:s förlag
- [6] M Arvidson, H Persson, Koldioxids (CO₂) påverkan på elektronik - släckning med låga koncentrationer SP rapport 1993:20.
- [7] ABB konstruktionsguide
- [8] Tanaka T.J., "Effects of Smoke on Functional Circuits", NUREG/CR-6543 SAND97-2544, Sandia National Laboratories 1997
- [9] Barnes R. B., "The basics of a successful incident recovery", SSA Journal vol. 13, Semiconductor Safety Association 1999
- [10] Tanaka T.J., Nowlen S.P., Anderson D.J., "Circuit Bridging of Components by Smoke", NUREG/CR-6476 SAND96-2633, Sandia National Laboratories 1996
- [11] Tanaka T.J., "Effects of Smoke on Functional Circuits", NUREG/CR-6543 SAND97-2544, Sandia National Laboratories 1997
- [12] E-post från T. Tanaka 00-08-29
- [13] E-post från S. Nowlen 00-08-14
- [14] Tanaka T.J., Baynes E. Jr., Nowlen S. P., Brockmann J., Gritz L., Shaddix C., "LDRD Report: Smoke effects on electrical equipment", SAND2000-0599, Sandia National Laboratories 2000
- [15] Brev från Olavi Keski-Rahkonen 1999
- [16] Chapin T.J., Caudill L.M., Gandhi P., Backstrom R. "Leakage current smoke corrosivity testing – Comparison of cable and material data, International Wire & Cable symposium 1996
- [17] IEC 754-2 Standard method for measuring pH and conductivity of materials. International Electrotechnical Committee.
- [18] "Where there's smoke...", FMRC Update vol. 1 no. 2, FM 1987
- [19] "Nonthermal fire damage", Record Jul./Aug. FM 1989
- [20] "Advances in nonthermal fire damage – An update on FMRC's long-range study". Record first quarter, FM 1996
- [21] E-post från R. Bill 00-08-10
- [22] "Fire risk analysis, fire simulation, fire spreading and impact of smoke and heat on instrumentation electronics", NEA/CSNI/R(99)27, OECD Nuclear Energy Agency 2000

