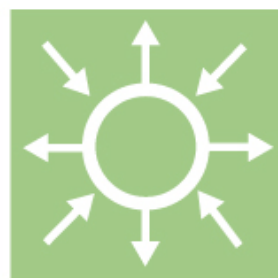


# Brandrisker i transformatorer och reläverksamhet med support

Elforsk rapport P31025



Rolf Hammarström  
Michael Försth

Augusti 2008

**ELFORSK**

# Brandrisker i transformatorer och reläverksamhet med support

Elforsk rapport P31025

Rolf Hammarström  
Michael Försth

Augusti 2008

## Förord

Detta projekt är initierat och finansierat av Elforsk AB (projektnr. 31025) och omfattar en förstudie om brandrisker i transformatorer och reläverksamhet med supportsystem. Studien genomfördes som en kombination av litteraturstudie, intervjuer samt besök vid ställverk (Hallsberg och Horred) samt ABB:s reparationsverkstad i Drammen.

Referensgruppen för projektet utgjordes av:

Bengt Martinsson                      E.ON Elnät Sverige AB

Kjell Hertzberg                        Svenska Kraftnät

## Sammanfattning

Vid en brand, eller incident som kan leda till brand, ger en tidig upptäckt och omedelbar åtgärd en minimerad skadebild. De flesta ställverk är obemannade. Det förekommer underhållsverksamhet under begränsad tid men till största delen har ställverken ingen personal på plats. Många anläggningar ligger också långt från tätbebyggt område vilket medför långa insatstider för räddningstjänsten och ansvarig personal. Vår utgångspunkt är därför att föreslå åtgärder som ger minsta möjliga stilleståndstid vid brand eller incidenter som kan leda till brand. Det är också viktigt att kunna övervaka och styra skeenden på distans. Resultatet av denna studie kan sammanfattas i följande rekommendationer.

1. Möjliggör tidig upptäckt med hjälp av högklassig detektionsutrustning.
2. Möjlighet att omedelbart identifiera problemet, från bemannad station, exempelvis via fjärrkamera.
3. Möjlighet att koppla bort problemområdet från kraftkällan efter identifierad incident.
4. Det bör finnas släcksystem som aktiveras automatiskt via detektion eller manuellt (fjärrutlösning).
5. Man bör använda släckmedel för relärum som inte skadar elektronikprodukter.
6. Täta genomföringar för att förhindra brandspridning och skadlig påverkan av brandgaser i angränsande rum.
7. Man bör utveckla släcksystem för transformatorer som kan aktiveras innan brand utbryter.
8. Möjliggöra access även i strömlöst tillstånd
9. Särskilja redundanta system
10. Viss överkapacitet på transformatorn

Det har visat sig mycket svårt att få en tydlig bild av förekomsten av bränder eftersom de tillfrågade parterna, typiskt kraftbolag, endera inte har någon tillfredställande dokumentation över tillbud, eller har som policy att inte lämna ut den typen av uppgifter. Förbättrade rutiner för dokumentation av tillbud är en förutsättning för en långsiktig förbättring av brandskyddet.

Kunskapen om bränder och explosioner i transformatorer är mycket mer begränsad än bränder i byggnader och liknande. Därför behövs ytterligare studier av de mekanismer som föregår och orsakar en transformatorexlosion. Vi föreslår ett antal forskningsprojekt i syfte att kartlägga dessa mekanismer. I förlängningen kan detta resultera i system som förhindrar eller begränsar konsekvenserna av det som idag leder till att transformatorer exploderar.



## Summary

In the event of a fire, or an incident that can result in a fire, an early detection and immediate action results in minimized damages. Most transformer stations are unmanned. Service is undertaken during limited periods but most of the time there is no personnel available. Many plants are located far from populated areas that mean long delay times for the fire brigade and for responsible personnel. We therefore suggest actions giving the shortest possible downtimes after fires or incidents that can result in a fire. It is also important to be able to supervise and control the events from distance. The result of this study is summarized in the following recommendations.

1. Use high quality smoke detection, in order to give an early indication of events that can lead to fire.
2. There should be a possibility to immediately identify the problem. This can be implemented for example by camera surveillance.
3. Cut the power in order to stop the supply of energy to the potential fire. This hinders further heating and stops or mitigates fire in a control cubicle.
4. There should be extinguishing systems that can be activated automatically or manually (by remote opening).
5. Use a clean extinguishing agent that is not harmful to the electronics. An inert gas or similar would be suitable.
6. Seal all cable shafts in order to prevent smoke spread between fire cells. Seal ventilation systems in order to prevent smoke spread supply of oxygen to a room fire, this is especially important in order to avoid dilution of inert gases.
7. Extinguishing systems should be developed that can be activated before a fire occurs on a transformer.
8. Enable access in powerless mode.
9. Separate redundant systems.
10. Have a certain overcapacity on the transformer rating.

It is very difficult to get a clear picture of the number of fires occurring in transformer stations. The reason for this being that the involved parties, typically electric power companies, do not have any functioning documentation, or they are not willing to share the information they have. Improved routines for documentation of incidents and fire events are a prerequisite for a long-term improvement of the fire protection.

The knowledge of fires and explosions in transformers is much more limited compared to the state-of-the-art for buildings and similar. Therefore further studies are needed of the mechanisms that precede and cause an explosion in a transformer. We suggest a number of research projects aiming to exploring these mechanisms. This will result in systems that prevent or limit the consequences of this that today results in transformer explosions.



## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning och problembeskrivning</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Avgränsningar</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Brandtillbud i ställverk och vattenkraftanläggningar</b>	<b>12</b>
3.1	Hallsberg, 2007.....	13
3.2	Tonstad (Norge), 1973.....	13
3.3	Stenkullen 1992, 1993 och 2003 .....	14
<b>4</b>	<b>Brandrisker i transformatorer och reläverksamhet med support</b>	<b>15</b>
4.1	Transformatorer .....	15
4.2	Brandrök.....	17
<b>5</b>	<b>Ställverk</b>	<b>19</b>
5.1	Ställverk ovan mark.....	19
5.2	Relärum och telekommunikation.....	20
5.2.1	Batterirum .....	21
5.2.2	Rum för lik- och växelriktare.....	21
5.2.3	Transformatorer och reaktorer .....	21
5.3	Ställverk under mark .....	21
5.3.1	Relärum och telekommunikation.....	22
5.3.2	Batterirum .....	22
5.3.3	Rum för lik- och växelriktare.....	22
5.3.4	Transformatorer och reaktorer .....	22
5.4	Synkronkompensatorer .....	22
<b>6</b>	<b>Översikt över nuvarande brandskydd i befintliga stationer</b>	<b>23</b>
6.1	Relärum med support .....	23
6.2	Batterirum.....	24
6.3	Rum för lik- och växelriktare .....	24
6.4	Telekommunikation .....	24
6.5	Transformatorer och reaktorer .....	24
6.6	Övriga kommentarer bland annat från insatsrapporter .....	25
<b>7</b>	<b>Möjligheter till förbättrat brandskydd</b>	<b>27</b>
7.1	Detektion .....	27
7.2	Släckmedel och släcksystem .....	28
7.2.1	Gasformiga släckmedel .....	28
7.2.2	Vätskebaserade släckmedel .....	31
7.2.3	Släckmedel i fast form .....	33
7.2.4	Explosionsdämpande system.....	34
<b>8</b>	<b>Förslag till skydd för transformatorer och reläverksamhet med support</b>	<b>36</b>
8.1	Brandförlopp.....	36
8.2	Detektion .....	37
8.2.1	Detektion i relärum med support .....	37
8.2.2	Detektion i Batterirum .....	38
8.2.3	Detektion i Rum för lik och växelriktare .....	38
8.2.4	Detektion i rum för telekommunikation.....	39
8.2.5	Detektion i samband med brand i transformatorer och reaktorer .....	39
8.3	Släcksystem .....	42



8.3.1	Släcksystem i Relärum .....	42
8.3.2	Släcksystem i Batterirum.....	42
8.3.3	Släcksystem i Rum för lik och växelriktare .....	42
8.3.4	Släcksystem i rum för telekommunikation.....	42
8.3.5	Släcksystem i transformatorer och reaktorer .....	43
<b>9</b>	<b>Slutsatser och rekommendationer</b>	<b>43</b>
9.1.1	Rum för reläverksamhet och support.....	44
9.1.2	Transformatorer och reaktorer .....	44
<b>10</b>	<b>Rekommendationer för vidare studier</b>	<b>46</b>
10.1	Kontrollbyggnader .....	46
10.1.1	Pilotstudie för en kontrollbyggnad.....	46
10.2	Transformatorer .....	46
10.2.1	Är explosionsdämpning möjligt? .....	46
10.2.2	Dämpa den transienta tryckuppbyggnaden vid en transformatorexplosion .....	47
10.2.3	Vad är det värsta som kan hända?.....	47
<b>11</b>	<b>Referenser</b>	<b>49</b>
	<b>Appendix: Exempel på brandtillbud i Sverige och Norge</b>	<b>1</b>

# 1 Inledning och problembeskrivning

Dagens samhälle är helt beroende av elkraft och distributionen måste därför vara fri så från avbrott som möjligt. Ingående komponenter i ställverk är oftast unika med långa leveranstider och incidenter med förstört material ger därför långa avbrott. Bränder i högspänningskomponenter samt styr- och reglerutrustning är relativt sällsynt men förekommer ibland och kan i värsta fall ge långa avbrottstider över stora delar av Sverige.

De senaste åren har flera bränder inträffat i olika transformatorstationer och ställverk i Europa. Detta har aktualiserat frågan om ålder och brandsäkerhet i svenska ställverk. Stora delar av den svenska transformatorparken har varit i funktion under mycket lång tid och till stor del är transformatorparken installerad under 1960- och 1970-talet. En ökning i felintensiteten har noterats och den förväntas tillta i framtiden. Det är nödvändigt att kvantifiera detta problem i termer av anläggningsantal, typ av anläggning, brandrisk, släckningsmöjligheter och konsekvenser för att kunna fatta beslut om preventiva åtgärder.

*Ålder, kvalitet, belastningsgrad och underhåll* är fyra parametrar som starkt påverkar materielens livslängd och därmed risk för att brand ska uppstå.

- *Ålder*: Många komponenter har en begränsad livslängd och det är därför nödvändigt att byta ut dem med jämna mellanrum. Normalt blir felfrekvensen högre mot slutet av den prognostiserade livslängden men det förekommer även felaktigheter under övrig tid av livscykel. Man kan därför inte säga att enbart äldre anläggningar ska skyddas.
- *Kvalitet*: Kvalitet och därmed utförande och materialval, är en viktig livslängdsparameter. Många komponenter är tillverkade för hand och även om materialvalet är förstklassigt kan produkten bli kortlivad om det förekommer mindre misstag under tillverkningen.
- *Belastning*: Hög belastning sliter ofta mer på en produkt än om den belastas med en lägre effekt. Höga temperaturer i kombination med stora elektromagnetiska krafter som påverkar lindningarna i en transformator bryter på sikt ner det papper som fungerar som isolationsmaterial.
- *Underhåll*: Underhåll och kvaliteten på underhållet är en av de viktigaste parametrarna om man vill ha ett långt liv på sina produkter. Om underhåll nedprioriteras så ökar felfrekvensen. Erfarenhet och kompetens är två viktiga egenskaper när man beslutar om underhållets omfattning och frekvens.

Vid en brand, eller incident som kan leda till brand, ger en tidig upptäckt och omedelbar åtgärd en minimerad skadebild. De flesta ställverk är obemannade. Det förekommer underhållsverksamhet under begränsad tid men till största delen har ställverken ingen personal på plats. Många anläggningar ligger också långt från tätbebyggt område vilket medför långa utryckningstider för räddningstjänst och ansvarig personal.

Brandskydd för byggnader och byggnadsliknande anläggningar har utvecklats betydligt de senaste decennierna. Kunskapen om hur man bäst förebygger, detekterar och släcker bränder har utvecklats genom såväl experimentella som teoretiska studier. Däremot finns inte samma kunskap om brandskydd för mer speciella anläggningar såsom t.ex. transformatorer. Därför innehåller denna rapport mer konkreta rekommendationer vad gäller byggnader och

liknande anläggningar än för själva transformatorerna. Bränder och explosioner i transformatorer är komplexa fenomen som kräver djupare tvärvetenskapliga studier för att kunna behandlas med samma kunskapsbakgrund som gäller för byggnader. Vad gäller transformatorer är rapporten därför mer diskuterande och förslag ges på vidare studier.

## 2 Avgränsningar

I rapporten diskuteras brandskydd för större transformatorstationer, typiskt större än cirka 50 MVA. De områden och detaljer som framförallt bör skyddas är sådana som har unik materiel, det vill säga där detaljer inte finns att få för omgående leverans. Detta är i huvudsak krafttransformatorer, reaktorer och elektronisk utrustning i relärum med angränsande support. Utrustning inom själva ställverksplan, såsom mättransformatorer, brytare och slutare, finns relativt lättillgängligt.

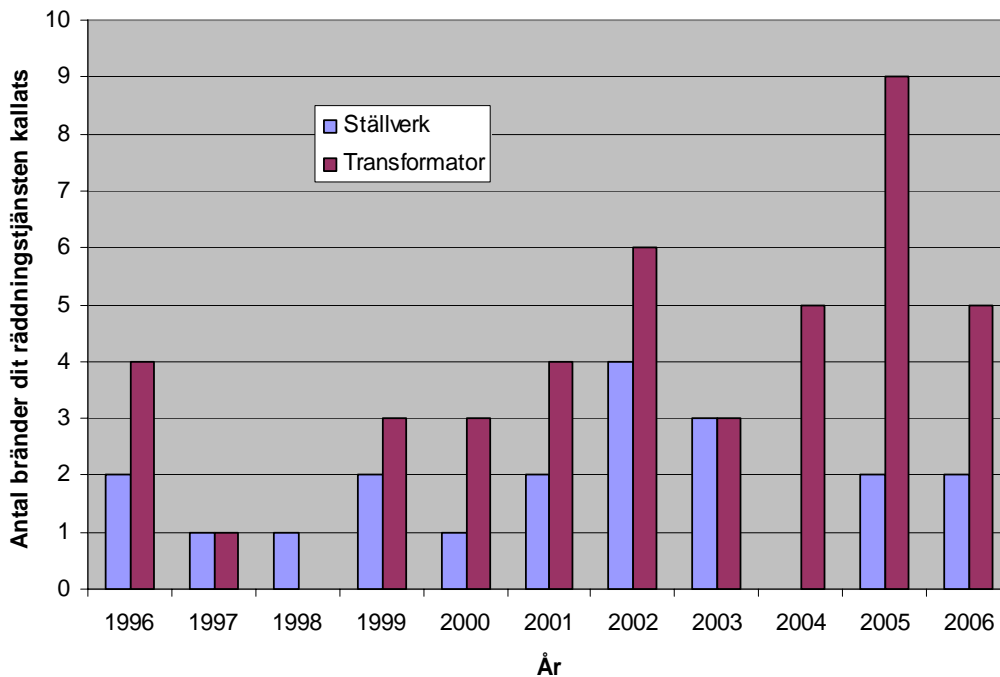
Som en följd av att de flesta stationer är obemannade fokuserar rapporten på fasta system för detektion och släckning (eller inertering). Manuell brandbekämpning diskuteras inte.

Rapporten är inriktad på tekniska problemställningar och lösningsförslag. Organisatoriska frågor diskuteras i ringa omfattning och aspekter vad gäller mänskligt beteende diskuteras ej.

### 3 Brandtillbud i ställverk och vattenkraftanläggningar

I detta kapitel diskuteras utvalda tillbud samt den statistik som finns tillgänglig angående bränder och explosioner i ställverk och i viss mån även i vattenkraftanläggningar. Statistik finns tillgänglig framförallt vad gäller spänningsbortfall och orsakerna till dessa medan brandtillbud inte har dokumenterats i samma grad. Studier av personskador har gjorts och då framgår att skador p.g.a. brand är ytterst ovanligt jämfört med övriga typer av skador såsom till exempel elchocker och fallskador [1].

Statistik från Räddningsverket [2] visar att antal bränder i transformatorer legat förhållandevis konstant under perioden 1996-2006, se Figur 1 nedan. Även om en liten ökning kan noteras för den senare delen av perioden är det omöjligt att veta om detta beror på ökad brandfrekvens eller på ändrade rapporteringsrutiner. Räddningsverket ändrade sin insatsrapportering 2005. Den eventuella ökningen beror dock med största sannolikhet inte på åldringen av transformatorer eftersom denna sker över tiotals år. Igångsättandet av transformatorerna i elnätet spänner dessutom över flera decennier.



Figur 1. Antal bränder i byggnader dit räddningstjänsten kallats och där fritexten i insatsbeskrivningen innehållit någon av textsträngarna "ställverk" eller "transformator" [2].

En fråga är på vilket sätt avregleringen av elmarknaden har påverkat underhållet och åldringen av transformatorer. En synpunkt är att avregleringen och de därigenom ökade prisvariationerna på spotmarknaden leder till en ökad variation i utnyttjandegrad hos transformatorerna [3]. Vid toppar i elpriset är det heller inte osannolikt att transformatorerna belastas mycket hårt. Enligt kontakter med representanter för elkraftbranschen

specificeras kapacitetskraven vid upphandling enligt uppskattad maximal belastning, och inte mer. Det är sannolikt att en överdimensionering skulle minska felfrekvensen.

I appendix visas en tabell som sammanfattar ett antal tillbud i olika typer av elkraftsanläggningar. Tabellen är dock långt ifrån fullständig och kan ej anses ge en representativ bild av hur stort problem bränder i elkraftanläggningar är. Det har visat sig mycket svårt att få en tydlig bild av förekomsten av bränder eftersom de tillfrågade parterna, typiskt kraftbolag, endera inte har någon tillfredställande dokumentation över tillbud, eller har som policy att inte lämna ut den typen av uppgifter.

Tre tillbud nämns speciellt här eftersom de på ett pedagogiskt sätt visar sårbarheten i dagens distributionssystem.

### 3.1 Hallsberg, 2007

Kontrollstationen till ställverket i Hallsberg [4] är placerad i ett bergrum. En växelriktare fattade eld med kraftig rökutveckling som följd. För att genomföra en släckinsats kopplades spänningen bort. På grund av kontrollstationens utformning kopplades då även spänningen till relärummet bort. Detta innebar att det under det antal timmar då släckinsatsen utfördes inte fanns någon möjlighet att kontrollera ställverket vid transformatorstationen. Detta innebar en mycket allvarlig situation eftersom Hallsberg är en strategiskt viktig station och om problem samtidigt hade uppstått i andra delar av nätet kunde mycket stora skador ha uppstått.

Ett mindre akut men väl så allvarligt problem med händelsen var att relärummet fylldes med brandrök. Elektroniken i relärummet var ålderstigen och ersättningskomponenter fanns inte tillgängliga. Om koncentrationen av saltsyra och andra korrosiva gaser i brandröken hade varit tillräckligt stor skulle hela kontrollsystemet för Hallsberg slagits ut för en mycket lång tid. Kostnaderna för detta skulle ha blivit betydande beroende på stationens stora betydelse för svensk elkraftförsörjning.

### 3.2 Tonstad (Norge), 1973

En kabelavslutning innehållande 250 liter mineralolja exploderade på grund av ett yttre överslag över porslinsavslutningen [5]. Vid den primära explosionen spreds gaser och oljedimma i transformatorrummet. Denna orsakade sen en sekundär explosion som bland annat förstörde betongtaket i transformatorrummet. Brinnande olja och gaser slungades in i maskinhallen där allt brännbart fattade eld. Personal och utrustning i kontrollrummet skadades av flygande glasbitar från ett fönster mellan maskinhall och kontrollrum. Branden självslocknade efter cirka 5 minuter av syrebrist.

Hela kraftstationen fylldes snabbt med svart rök vilket försvårade räddningsinsatsen. Tre personer avled: en av rökförgiftning, en till följd av glassplitter och en person föll beroende på den obefintliga sikten nedför en oskyddad avsats.

Olyckan visar den potential som finns för stora explosioner från oljan som används som isoleringsmaterial i högspänningsutrustning. I detta fall fanns endast en begränsad mängd olja tillgänglig. I stora transformatorer är bränslemängden betydligt större och det är oklart hur kraftiga explosioner som egentligen kan uppstå på detta sätt.

### 3.3 Stenkullen 1992, 1993 och 2003

1992: En reaktor (140 kV med ca 15 ton olja) havererar med oljeläckage som följd, som sedan resulterar i en oljebrand.

1993: En växelriktare havererar med begränsad brand som följd.

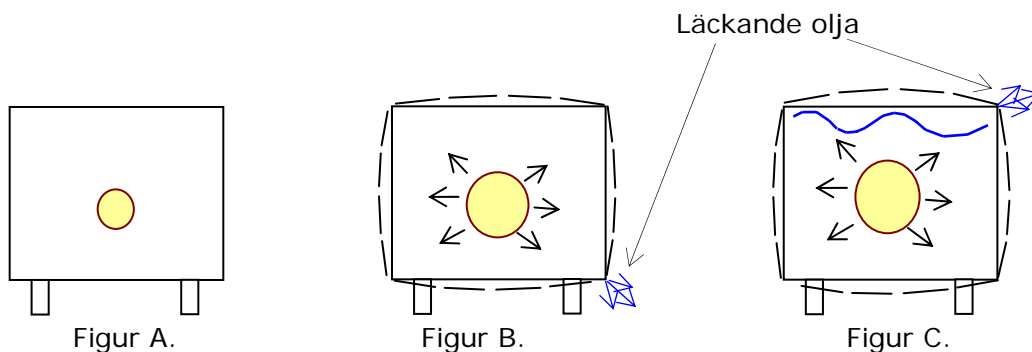
2003: En transformator havererar och brinner.

## 4 Brandrisker i transformatorer och reläverksamhet med support

Brandriskerna och brandförloppen i transformatorer och reläverksamhet med support är av olika natur och metoderna att förhindra dem är olika. Det mest spektakulära förloppet är en explosion till följd av ett transformatorfel men även brandröken kan göra stor skada.

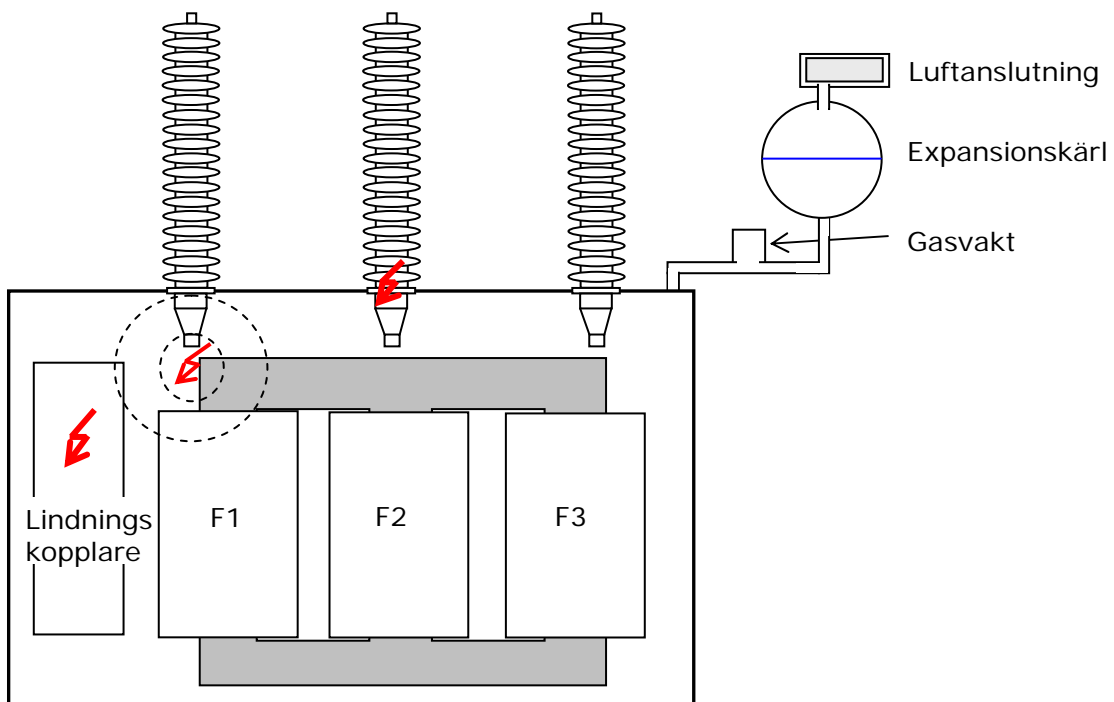
### 4.1 Transformatorer

Det vanligaste brandscenariot för oljefyllda transformatorer startar med en försämring av isoleringen runt högspänningslindningen. Detta kan ske på grund av åldring, värme, mekanisk påverkan, försämrad kvalitet av oljan etc. Ett fel med hög impedans och låg ström utvecklas i lindningarna som ett resultat av isolationsbortfallet. Felet mellan varv – varv eller lager – lager växer snabbt, och spolens impedans minskar. Om det elektriska skyddet mot interna fel i transformatorn inte löser ut och kopplar bort transformatorn, kommer felet att växa och förorsaka ljusbågar. Ljusbågen bryter ner oljans isolationsförmåga och skapar en växande mängd gas (figur A). Trycket och volymen i gasen ökar trycket i transformator-tankens olja till en nivå där den rektangulära tanken deformeras och slutligen börjar läcka, ofta i svetsade hörn utmed bottenytan (figur B). Turbulens kan skapa lokala tryckökningar i det övre skiktet av transformatoroljan orsakad av den snabbt växande mängden gas kan också orsaka deformation och brytningar i tankens övre delar som börjar läcka (figur C). Det mycket snabbt ökande trycket pressar ut olja, gas och sönderfallande detaljer från tanken. Heta (glödande) delar av kopparlindningar eller annat material som kastas ut från tanken kan tända oljan som sprayats ut ur tanken. Detta kan ge en spray och/eller poolbrand vid transformatorn. Ibland kan finfördelad olja i stor mängd kastas ut och blandas med luften. Om denna tänds kan vi även få en sekundär explosion utanför transformatorn (jämför Tonstad i Norge [5]).



Ett liknande brandscenario av värsta fallet kan inträffa vid överbelastning där strömmen inte bryts. Den fortsatta strömrusningen kommer successivt att öka temperaturen i transformatoroljan. Den framräknade värmeöverföringen, [6] indikerar att en oavbruten ström på 150% av maxbelastningen kan orsaka en temperaturökning från 50 °C till omkring 135 °C under en tid av 3 – 4 timmar. Denna förhöjda temperatur orsakar en försämring av isolationen, möjligen i form av förkolningar eller små kortvariga överslag (s.k. tracking). Eventuellt kan ett överslag till jord uppkomma utefter den förkolnade isolationsytan. Dessa små överslag kan snabbt växa till ett överslag med

Ljusbåge och höga strömmar som i sin tur skapar snabbt växande gasbubblor i oljan. Frekventa överslag med låg energi i mineralolja kommer att producera gaser, som i huvudsak består av väte och etylen [6]. Om dessa gaser kommer i kontakt med luft (syre) inne i tankens gasutrymme, kan en ljusbåge orsaka en explosionsartad förbränning som kan leda till att tanken förstörs. Andra vanliga fel i transformatorn som leder till liknande scenarier är, enligt ABB i Drammen, överslag i lindningsomkopplaren, högspänningsisulatorerna och anslutningar till högspänningsisulatorerna, se Figur 2.



Figur 2. Schematisk skiss över en transformator. De röda blixtpilarna beskriver de ställen där det ofta kan uppstå överlag med explosioner som följd.

Det finns ett flertal mer eller mindre användbara metoder för att diagnostisera transformatorer och bedöma sannolikheten för att ett tillbud är nära förestående. Dessa metoder diskuteras i kapitel 8.2.5.

Mängden producerad gas och oljedroppar är avgörande för hur mycket energi som kan frigöras vid transformatorexplosioner. Denna mängd beror i sin tur på hur mycket elektrisk energi som frigörs i ljusbågen vid fel [3]. Normalt bryts strömmen inom 0,1 – 0,3 sekunder.

Utvecklade effekter vid kortslutningspunkten kan vara i storleksordningen:

1. Vid 145 kV nät: ca 10 GVA (10 miljarder VA)
2. Vid 300 – 400 kV nät: ca 30 – 50 GVA (30 - 50 miljarder VA)

Den verkliga kortslutningseffekten är normalt lägre än de siffror som anges ovan, typiskt med en faktor två. Sammanfattningsvis är kortslutningseffekterna enorma och bidrar till en mycket kraftig expansion av transformatorolja som kan få transformatorinneslutningen att brista.

För att beskriva energiinnehållet i transformatorolja så kan som exempel, ges SVK:s 750 MVA transformator vid stationen i Hallsberg. Denna innehåller



60 m<sup>3</sup> mineralolja vilket motsvarar en brandbelastning på  $1,92 \cdot 10^{12}$  J, om en densitet på 800 kg/m<sup>3</sup> och ett värmevärde på  $40 \cdot 10^6$  J/kg antas. Om vi bortser från den energi som åtgår för förångning av transformatoroljan så motsvarar detta detsamma som  $1,1 \cdot 10^4$  MWh, eller ekvivalent med 457 ton TNT! Risken är förvisso obefintlig att all olja bildar en aerosol som genomgår en ögonblicklig förbränning men det är tankeväckande att se vilka energimängder som finns lagrade i större transformatorer.

Idag kan mineraloljan ersättas med silikonbaserade oljor med högre flampunkt, vilket betyder att de är mer svårantändliga. Undersökningar har dessutom visat att silikonolja inte ger upphov till större gasbildning än mineraloljor [5]. De är därför ett ur brandsynpunkt utmärkt alternativ till mineralolja. Forskning antyder att utbyte av transformatorolja endast ger en marginell ökning av transformatorns återstående livstid [5]. Vid ett oljebyte finns det dessutom risk att papper och eventuellt trä i transformatorn förskjuts vilket kan leda till förkortat livstid. Tydliga indikationer finns att nedbrytningen av isoleringspapperet accelereras med ökande vattenhalt i papperet. Övriga viktiga parametrar för en transformators livslängd är driftstemperatur och hot-spot temperatur samt under hur lång tid hot-spot temperaturen råder.

Problematiken med exploderande transformatorer är störst i underjords- och berg anläggningar pga svårigheten med tryckavlastning samt långa utrymningsvägar [5].

## 4.2 Brandrök

Spänningsatt elektronik som påverkas av brandrök kan i många fall anses som förbrukad [7]. Även elektronik som inte är i bruk kan skadas av brandröken. Det är därför viktigt att begränsa röken från en brinnande enhet att nå annan elektronik i drift. Detta kan göras med väggar och täta genomföringar, alternativt styrd ventilation som klarar heta rökgaser.

Brand ger upphov till bland annat 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. Detta kan ge akuta felfunktioner som kan orsakas av överledning eller kortslutning. Studier har visat att modern digital teknik är mer känslig för denna typ av påverkan än vad tidigare elektronikgenerationer varit [8]. 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 driftsfall som t ex brand.

Försök har visat att överledning kan uppstå efter kort tid i samband med brand [7]. Överledningen kan ske både genom röken i gasfas och genom att deposition av sot skapar ledande förbindelser. I vissa fall ökar sotbeläggningens ledande förmåga med ökad relativ fuktighet, men för grafitiskt kol är ledningsförmågan oförändrat hög oavsett fukthalt.

Beroende på elektronikens utformning kan den vara mer eller mindre känslig för brandpåverkan. Vissa komponentkonstruktioner är känsligare än andra. Likaså kan kretsens strömstyrka och impedans påverka skadeutfallet. Generellt innebär att kortare avstånd mellan ledare ger en ökad

störningskänslighet. De elektriska fälten kring likströmsledare drar till sig röken och kan ge upphov till såväl sotbryggor som starkt ojämn sotdeposition.

Valet av kabelisolationsmaterial har 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 avståndsseparation, brandavskiljning eller ventilation. Det finns dock inga generella rekommendationer utan riskbedömning måste göras på plats [7].

Hål och kabelgenomföringar i väggar kan leda till ökad spridning av brandrök i en stationsbyggnad. I SvK:s tekniska riktlinjer [9] anges att håltagningar i väggar skall tätas så att brandklass EI60<sup>1</sup> uppfylls. Detta är en god praxis som bör tillämpas även vid senare ombyggnationer av stationen.

---

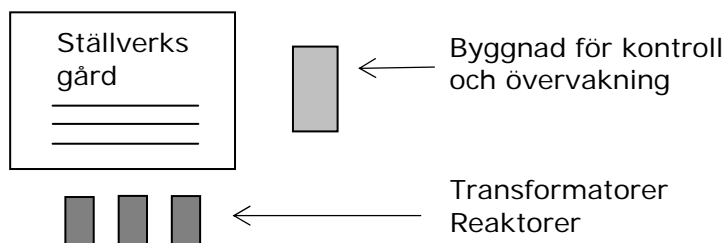
<sup>1</sup> EI60 betyder att genomföringen ska klara av att motstå en standardiserad brand under 60 minuter utan att alltför höga temperaturer uppstår på den skyddade sidan.

## 5 Ställverk

I detta kapitel beskrivs de olika delarna i ställverk och omkopplingsstationer. Ställverk kan delas in i två kategorier: Ovan mark och under mark. Den senare kategorin kom till med tanke på sabotage i samband med krig. Idag byggs enbart anläggningar ovan mark.

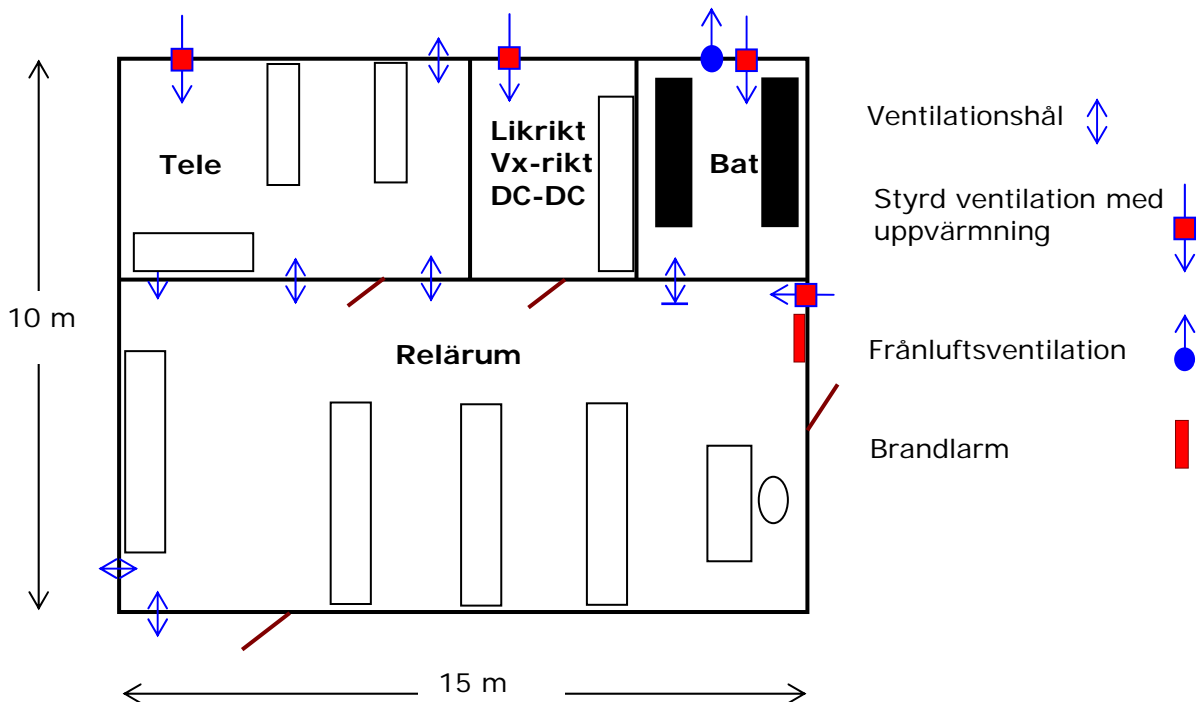
### 5.1 Ställverk ovan mark

Ett ställverk består i princip av själva ställverksgården, en byggnad för kontroll och övervakning samt transformatorer, reaktorer och ibland även en faskompensator. Uppställning av de olika delarna ser vanligtvis ut som figuren nedanför, men det kan variera något med hänsyn taget till naturen.



Figur 3. Principskiss över ett ställverk med transformatorer utomhus.

Horred är en helt ny anläggning ovan mark och får ses som en mall över hur en anläggning ser ut med dagens kunnande. Byggnaden, som inbegriper reläverksamhet med tillhörande supportsystem (såsom kraftförsörjning och telekommunikation), är helt byggd i betong och är indelad i 4 rum, har ett installationsgolv (spånskiva med tunt slitskikt av termoplast, tjocklek 38 mm) på stålbalkar ca 1 m över betonggolvet. All elektronisk utrustning, inklusive brandlarmet, är i detta fall från Siemens.



Figur 4 Principskiss över kontrollbyggnaden i Horred

Det finns en del ventilationshål i byggnaden (blå pilar), några med uppvärmning (röd kvadrat) och en frånluftsfläkt i batterirummet (blå pil med klot). Alla dörrar är av plåt med hög brandklass för att begränsa brand till respektive rum. Brandlarmet är av rumstyp med rök-värme detektorer. Det finns även rökdetektorer under trägolvet. Det finns inget fast släcksystem installerat i byggnaden. Tillgängligt bränsle i byggnaden är installationsgolvet, kabelisolering, elektronik samt en kontorsmöbel. Mängden brännbart material är alltså begränsat. Byggnadens utformning och inredning innebär ett bra passivt brandskydd.

## 5.2 Relärum och telekommunikation

Brandriskerna i relärum och rum för telekommunikation får, med dagens kunskap, anses vara likvärdiga. Det är mycket elektronik i båda fallen och kanske är riskerna något högre i relärummen på grund av att där finns fler enheter. Vår bedömning är att risknivån är lägre än för växelriktarrummen men högre än för batterirummen. Risk för att brand ska uppstå varierar dock med ålder, material och byggnadssätt. Vid en brand, eller incident som kan leda till brand, ger en tidlig upptäckt och omedelbar åtgärd en minimerad skadebild. Om brand utbryter är det viktigt att förhindra korrosiva rökgaser att påverka elektronisk utrustning.

### 5.2.1 Batterirum

Risken för brand i batterirum är förhållandevis låg. Kablar som är dragna i väl fastsatta VP-rör på behörigt avstånd från varandra gör att risken för kortslutning med påföljande värmeutveckling är mycket låg. Battericellerna är av god kvalitet och har ett regelbundet underhåll. Batterirummen är försedda med evakueringsfläkt för att förhindra ansamling av knallgas. En förbättring kan vara ett gaslarm som indikerar om ventilationen är dålig eller om laddningen skulle anta onormala proportioner.

### 5.2.2 Rum för lik- och växelriktare

Likriktare och växelriktare är för det mesta placerade i samma rum. Elektronik hanterar förhållandevis höga strömstyrkor. Vi har ingen fullständig information om hur denna utrustning är konstruerad och vilka säkerhetssystem som finns inbyggda men de höga effekterna innebär brandrisker. Vår bedömning är att risknivån är väsentligt högre än i batterirummen.

### 5.2.3 Transformatorer och reaktorer

Transformatorer utgör en brand- och explosionsrisk som kan få allvarliga konsekvenser. Det är dock svårt att uppskatta sannolikheten för transformatorbränder i Sverige, beroende på det magra underlag vi har fått in från berörda aktörer. Men väljer man utfallet från Stenkullen som mall bör man skyndsamt förse alla transformatorer med effektiva släcksystem.

Idag bedrivs en omfattande förebyggande verksamhet för att följa upp transformatorers kondition. Många av dessa provtagningar sker med jämna mellanrum och ibland lyckas man fånga upp problem i tid och på så sätt undviks större katastrofer. Men trots detta är vår uppfattning, efter diskussion med branschfolk och sökningar på transformatorbränder, att en brand i en transformator kan komma helt oväntat.

Reaktorer har i princip samma uppbyggnad som transformatorer. Det är en kopparspole på järnkärna nedsänkt i oljebad och samma typer av genomföringar etc. Risker och antändningsförlopp är direkt jämförbara med de hos transformatorer.

## 5.3 Ställverk under mark

Det är inte lika enkelt att åstadkomma utrymmen under mark som ovan mark, vilket medför en större apparattäthet per yta i bergtrum. Sektionering kanske inte är lika lätt att genomföra som ovan mark, vilket innebär fler apparater och system i samma rum. En layout för ett ställverk under mark kan därför skilja sig väsentligt från en anläggning ovan mark. Utseendet på en undermarksanläggning varierar också beroende på de förhållanden som råder på varje plats. Den relativa luftfuktigheten är sannolikt något högre under mark, vilket ökar möjligheten för korrosion i kontaktdon och annan elektronisk utrustning. Vid brand under mark är behovet av evakuering av brandgaser avgörande vid insatser från räddningstjänsten. Skulle en transformator explodera är tryckavlastning en förutsättning för att rädda liv och övrig utrustning i angränsande utrymmen.

Viktiga saker att tänka på vid undermarksanläggningar är:

1. Tillgänglighet för insatspersonal
2. Möjlighet att bryta strömmen utifrån
3. Flera möjligheter för utrymning
4. Väl utformad cellindelning (sektionering) mellan olika verksamheter
5. Tryckavlastning vid explosioner och gasexpansion (vid släckning)
6. Kraftiga fläktar för evakuering av rökgaser och värme \*
7. Automatiska släcksystem som kan fungera tillsammans med människor.
8. Stängda dörrar
9. Ersätta ställverk under mark med anläggningar ovan mark.

\* Senaste exemplet är Hallsberg där en växelriktare brann. Röktätheten var så stor att insatspersonalen inte såg handen framför sig.

### 5.3.1 Relärum och telekommunikation

Brandriskerna i relärum och rum för telekommunikation är något högre än ovan mark pga den högre luftfuktigheten och större apparat tätheten.

### 5.3.2 Batterirum

Ingen signifikant skillnad jämfört med anläggningar ovan mark. See kapitel 5.2.1

### 5.3.3 Rum för lik- och växelriktare

Ingen signifikant skillnad jämfört med anläggningar ovan mark. See kapitel 5.2.2.

### 5.3.4 Transformatorer och reaktorer

Risken för brand är lika stor som i fallet ovan mark, dock är behovet at tryckavlastning större i ett bergrum.

## 5.4 Synkronkompensatorer

En mekanisk synkronkompensator är fylld med vätgas för att effektivt kunna avleda värme mot ytterhöljet. Om läckage skulle uppstå kommer vätgasen att stiga upp mot taket i lokalen. Det är viktigt att kunna ventilerar ut gasen så fort som möjligt. Vätgas blandat med luft är extremt lättantändlig och minsta gnista orsakad mekaniskt eller som urladdning av statisk elektricitet kommer att antända gasblandningen. Lokalen bör förses med någon form av tryckavlastning som aktiveras vid explosion. Det är tveksamt om det överhuvudtaget går att förhindra en explosion med blandningen vätgas – syre.

## 6 Översikt över nuvarande brandskydd i befintliga stationer

Generellt är det passiva brandskyddet bra i de flesta anläggningar. Materialvalet i golv, väggar och tak är av typen svårantändligt till obrännbart. Kabeldragningar ligger väl skyddat och klamrat enligt föreskrifter och elektronik och kontakter är av hög standard. Sektionering (brandcellsindelning) är genomfört i alla nya och de flesta äldre byggnader och kanaler och schakt för kablar är avtätade. Sektioneringen är dålig i många bergrumsanläggningar och ibland saknas även spärrar i kabelschakt. Det aktiva brandskyddet är av varierande kvalitet. På en del ställen finns detektionsutrustning av äldre årgångar, som inte klarar dagens EMC-krav. Det finns anläggningar som saknar heltäckande automatiska släcksystem vilket innebär att dessa är helt utlämnade till räddningstjänsten eller om det finns personal på plats som kan hantera handbrandsläckare.

### 6.1 Relärum med support

Med "relärum med support" menas själva relärummet samt batterirum, rum för lik- och växelriktare och rum för telekommunikation. I relärum med angränsande support har man ofta ett bra passivt brandskydd med bra materialval och cellindelning. Dock är utrymmena ofta utrustade med ventilationshål som gör det möjligt för brandrök att påverka utrustning i angränsande rum.

Det finns alltid ett brandlarm, även om dessa brandlarm i äldre anläggningar kan innebära vissa problem. I de flesta fall handlar det om ett adresserbart brandlarm med rökdetektorer utplacerade i respektive rum samt under installationsgolv. I enstaka anläggningar (HVDC) har man installerat aspirerande snabba system. Området i och runt om ett ställverk är utsatt för stark påverkan av elektromagnetiska fält och stora strömmar i jordplanet. Erfarenheten visar att äldre branddetektionssystem har haft låg tillförlitlighet, på grund av hög känslighet för EMC (exempelvis Hallsberg). Brandlarm som testats och godkänts enligt EN 54:2 har inte dessa problem, vilket gäller system tillverkade efter ca år 2000. EN 54:2 offentliggjordes i oktober 1997, men alla tillverkare hade inte sina anläggningar godkända vid den tiden.

Det är dock oklart i många fall om det går att stänga av strömmen till de olika skåpen och energireserver via fjärrstyrning.

Det finns alltid tillgång till handbrandsläckare men automatiska släcksystem saknas. Det kan utgöra en risk med tanke på att de flesta ställverk är obemannade. I Norge har man enligt uppgift börjat installera automatiska släcksystem i rum med elektronisk utrustning.

## 6.2 Batterirum

Batterirummen är vanligtvis utrustade med rökdetektor samt evakueringsfläkt för att hålla knallgaskoncentrationen på en låg nivå. Vi har inte kommit i kontakt med något gaslarm som kompletterar dessa evakueringsfläktar. Fast installerade släcksystem saknas.

## 6.3 Rum för lik- och växelriktare

Brandlarm finns i form av rökdetektion men fast monterade släcksystem saknas. I lik- och växelriktare hanteras stora effekter varför bränder i dessa anläggningar kan få ett snabbare förlopp.

## 6.4 Telekommunikation

Brandlarm finns i form av rökdetektion men fast monterade släcksystem saknas. Riskerna i dessa rum bedöms vara jämförbara med relärummens.

## 6.5 Transformatorer och reaktorer

Transformatorer inomhus eller i bergrum är alltid utrustade med automatiska släcksystem, vanligtvis koldioxid. Ibland finns flamdetektorer för att indikera en transformatorbrand. Det är osäkert vad det finns för annan detektion i samband med släcksystem för transformatorer. Med dagens släcksystem kommer alltid branden att tillåtas bryta ut innan släcksystemet aktiveras. Det finns med andra ord inga släcksystem idag som förhindrar brand att bryta ut på transformatorn.

Det finns en hel del säkerhetsarrangemang inbyggda i nuvarande system (se kapitel 8.2.5), men det tycks inte finnas något analysystem som kontinuerligt övervakar och indikerar symptom som slutligen leder fram till brand eller explosion i en transformator. Vi anser att någon form av kontinuerlig mätning och loggning bör göras. Man kan till exempel mäta partiella urladdningar eller några parametrar som visar när det börjar bli kritiskt. Denna information bör sedan kunna användas efter ett haveri för att utreda händelser som föregått haveriet. Detta skulle på sikt öka kunskapen om varför fel uppstår och kanske också hur man kan undvika liknande händelser. Detta kan på sikt även användas för att detektera att ett fel håller på att uppstå.

Ett komplement till släcksystem för transformatorer kan man vara tryckavlastning i form av beräknade, och utprovade, försvagningar i transformatorns låda. Dessa tryckavlastningszoner ska sedan vara anslutna till kanaler med skydd som tar hand om den utströmmande oljedimman. Skydden bör dessutom innehålla någon form av flamspärr i form av kylande struktur i kombination med en inert atmosfär. Masströgheten i oljan och avstånden i större transformatorer gör att det kan vara lämpligt med fler



tryckavlastningspunkter i transformatorskalet. För att minska effekten av den transienta tryckökningen kan man förse transformatorns inre med gasfjädrar som förlänger tiden till fullt tryck.

Under transformatorer finns en invallning för att ta hand om läckande transformatorolja och släckvatten. För att invallningen och uppsamlingstanken under en transformator skall fungera tillfredställande är det naturligtvis viktigt att tanken har tillräckligt stor tom volym för att rymma olja och släckvatten utan att svämma över. Problem uppstår här om alltför mycket regnvatten ansamlas.

Vid släckinsatser har det observerats [4] att skummet kan bära oljan över stenarna i invallningen och därigenom transportera olja över invallningen och till angränsande områden. Detta medför på kort sikt ett brandskyddsproblem och på lång sikt ett miljöproblem med omfattande saneringsarbete som följd.

## 6.6 Övriga kommentarer bland annat från insatsrapporter

Räddningstjänsten gör normalt ingen insats förrän strömmen är bruten. Detta är ett problem vid obemannade ställverk, då personal från elkraftbolagen nästan alltid anländer till brandplatsen efter brandmännen.



Foto nr 1. Slangarna är framdragna men strömmen är fortfarande påslagen...

Ett annat problem är elektriska lås. I den statistik som erhållits från Räddningsverket framgår ur en insatsbeskrivning att öppningsmekanismen till en grind ej fungerade p.g.a. att det ej fanns någon strömtillförsel. Det framgår inte om strömtillförseln föll ifrån som en direkt konsekvens av branden eller som en indirekt konsekvens då elbolaget slog ifrån strömmen för att möjliggöra en släckningsinsats. Bägge fallen är tänkbara och bör beaktas både i såväl existerande såsom i framtida stationer.

Vid branden i Hallsberg var röken inne i bergrummen så tät att brandmännen inte kunde se handen framför sig. Man var dessutom tvungen att gå in i de rum som brann för att bryta strömmen. I Hallsberg finns också ett äldre

brandlarm som inte tål den höga EMC som råder i anläggningen, vilket ger oönskade falska larm.

Vi har inte kunnat identifiera någon tryckavlastning i Hallsberg, som kan utlösas vid transformatorexplosion.

## 7 Möjligheter till förbättrat brandskydd

I detta kapitel diskuteras vilka möjligheter till brandskydd som finns med dagens teknologi. Fokus ligger på detektering och automatisk släckning, men även möjligheterna till att stänga av strömtillförsel via fjärrstyrning är viktiga. Grundtanken är att större stationer är så strategiskt viktiga att allvarliga tillbud måste undvikas. Genom användning av snabba detektionssystem och icke förstörande släckmedel som utlöses i ett mycket tidigt skede kommer omfattningen av en påbörjad brand, eller händelser som kan leda till brand, att väsentligt reduceras. Det är också viktigt att notera att det i många äldre stationer finns elektronik som saknar reservdelar idag. Detta betyder att även en mindre brand kan leda till orimligt långa driftsstopp. Se även kapitel 4.2 om risker med brandrök.

### 7.1 Detektion

Brandlarm är ett aktivt system som på ett tidigt stadium kan detektera brand. Ett brandlarmsystem består av en centralapparat med tillhörande detektorer och larmdon.

Brandlarmsystem kan delas in i tre olika huvudgrupper: Konventionella system, analogt adresserbara system och aspirerande (eller samplande) system.

Konventionella system bygger på att grupper av detektorer och/eller larmknappar sektionvis detekterar brand mot fasta larmnivåer medan analogt adresserbara system individuellt indikerar brand- eller förlarm. I analogt adresserbara system finns också stora möjligheter till individuell styrning och behandling av signaler från enskilda detektorer.

Aspirerande system bygger på att luft leds in i detektorn via ett rörsystem. Signalbehandling och analys sker sedan i en centralenhet. Luften bör filtreras före detektorn för att öka detektorns livslängd eller förlänga serviceintervallerna, vilket är speciellt viktigt i besvärliga miljöer. Den aktiva provinsamlingen som ett aspirerande system utför är mycket mer effektivt för rökdetektering än vad ett konventionellt system med passiva rökdetektorer någonsin kan bli. Detta ökar både detektionens hastighet och känslighet. Dagens mest avancerade aspirerande system detekterar brand via laser eller molnkammare, medan de enklare detekterar via en normal punktdetektor.

#### Olika typer av detektorer

De vanligast förekommande detektorerna är värmedetektorer, rökdetektorer, kombidetektorer, flamdetektorer och linjedetektorer. Eftersom rök- eller kombidetektorer (rök – värme) är mest aktuella för användning i relärum, kommer endast dessa att behandlas i denna sammanställning.

**Värmedetektorer** finns i huvudsak i två utföranden samt kombinationer av dessa. Maximalvärmedetektorer reagerar när en viss förutbestämd temperatur uppnås, medan differentialvärmedetektorer reagerar för en

förutbestämd temperaturstegring under ett visst tidsintervall. Oftast är differentialdetektorer också utrustade med en maxvärmefunktion.

**Rökdetektorer** kan vara av joniserande eller optisk typ. Den joniserande detektorns funktion baseras på att joniserande luft är elektriskt ledande och att ledningsförmågan påverkas av till exempel rökpartiklar. Utgående från sin funktionsprincip är den särskilt lämpad för att reagera på små rökpartiklar, sådana som bildas när till exempel trä och papper brinner, men däremot inte på de brandgaser som uppstår i den första pyrande fasen vid kabelbränder. Generellt vid pyrande bränder, som är den vanligast förekommande brandinledningen i boendemiljö och där det företrädesvis bildas stora rökpartiklar, kan den reagera sent.

Optiska rökdetektorer arbetar vanligtvis enligt ljusreflektorprincipen och reagerar mycket bra på stora rökpartiklar. Dessa utvecklas speciellt vid pyrande bränder, inte minst vid kabelisolering, plast (PVC), olja, fett och oljehaltigt damm. Dagen optiska detektorer är också i stånd att reagera någorlunda på svart rök, till exempel vid gummibränder.

Av miljöskäl är flertalet rökdetektorer idag av optisk typ. Optiska detektorer har också visat sig vara mindre känsliga för andra partiklar i luften, som till exempel små vattendroppar och damm, vilket minskar risken för onödiga larm i svåra miljöer.

Det mest känsliga optiska detektionssystemet detekterar rök med laser i en speciell kammare. Denna typ av detektionssystem är ca 100 gånger känsligare än de bästa konventionella optiska rökdetektorerna.

Kombinationsdetektorer reagerar på flera företeelser: Exempelvis värme, rök och gas. De flesta kombinationsdetektorer är av optisk typ, med en inbyggd differentialdetektor med maxvärmefunktion. Med kombinationsdetektorer ges också möjligheter att skilja på pyrande och fullt utvecklad brand.

Idag finns detektionssystem som kan kopplas till övervakningskameror, där kameran riktas mot det detekterade problemområdet, alternativt flera kameror med fasta placeringar. Denna typ av övervakningssystem blir mer och mer vanliga inom processindustrin där stor del av verksamheten är obemannad, analogt med ställverk.

## 7.2 Släckmedel och släcksystem

Här ges en översikt över olika släckmedel. Vilka sorter av släckmedel som finns, deras fysikaliska egenskaper, personsäkerhet samt för- och nackdelar.

### 7.2.1 Gasformiga släckmedel

Ett gassläcksystem aktiveras oftast automatiskt av ett brandlarmssystem. Detta medför i de fall då rök- eller flamdetektorer används, i allmänhet en snabbare aktivering än för ett termiskt aktiverat system som till exempel en termiskt aktiverad sprinkler. Släckande koncentration uppnås inom tio sekunder upp till en minut beroende på gas. Tätheten hos det skyddade utrymmet är viktig. Den utströmmande gasen ger upphov till en tryckökning som inte får bli för stor. Samtidigt måste rummet vara så tätt att släckkoncentrationen upprätthålls under en tillräckligt lång tid så att återantändning förhindras. Gaserna har nämligen liten möjlighet att snabbt kyla brandhärden på samma sätt som vattenbaserade släcksystem har. Generellt sett kommer därför gasformiga släckmedels snabbhet mest till sin rätt vid snabba brandförlopp och de är i allmänhet mer effektiva mot Klass B brand (vätskebränder) än mot Klass A brand (fibrösa material, trä, papper, etc). Normalt dimensionerar

man därför med högre släckkoncentration i till exempel ett elektronikrum än i ett förråd med brandfarliga vätskor.

### Koldioxid

Koldioxid (CO<sub>2</sub>) är ett relativt vanligt gasformigt släckmedel i såväl fasta släckanläggningar som i handbrandsläckare. Koldioxid har en rad goda egenskaper, det är kemiskt stabilt, ej konduktivt, icke korrosivt, rent, billigt och lätt att tillverka i stora kvantiteter. Koldioxid som används för brandsläckning har ingen negativ miljöbelastning eftersom den framställs av den koldioxid som finns i atmosfären. Den utgör alltså inte något tillskott av koldioxid som i till exempel utsläpp från biltrafik och industriutsläpp. Dessutom kräver koldioxid, jämfört med andra inertgaser, lägre släckkoncentrationer.

En annan fördel med koldioxid är att den kan tryckkondenseras och lagras i vätskefas. Därför har gascylindrarna mindre utrymmesbehov än andra inertgaser. Eftersom koldioxid används i många andra sammanhang än för brandsläckning är den lätt tillgänglig och relativt billig.

Den stora nackdelen är emellertid personsäkerhetsaspekterna. Av säkerhetsskäl är koldioxid inte lämplig för totalfyllnad i utrymmen där personer vistas eftersom släckkoncentrationen är direkt dödlig. Släckanläggningar i utrymmen som kan vara bemannade måste därför utföras med en tidsfördröjning innan gasen strömmar ut. Efter en aktivering är det också viktigt att utrymmet ventileras innan tillträde medges.

Då koldioxiden strömmar ut kondenserar luftens fukt till droppar vilket minskar sikten i rummet under en till någon minut.

För elektronisk utrustning skulle man kunna tänka sig att koldioxid kan ge skador på grund av låga temperaturer, kondensation och överslag. En litteraturstudie från 1993 [10] visar dock så gott som inga rapporterade fall av sådana skador.

System projekteras och installeras normalt enligt SBF 115:2, "Regler för koldioxidanläggning" som publiceras av Brandskyddsföreningen.

### Andra typer av inertgaser

Då halonavvecklingen initierades blev det aktuellt att finna alternativa släckmedel som kunde användas utan risk för personer i det skyddade rummet. Ett antal tillverkare har försökt lösa detta problem genom att kombinera olika inertgaser så att släckkoncentrationen understiger hälsofarliga koncentrationer.

Det finns system som använder en blandning av kvävgas och argon, ett annat koncept använder kvävgas, argon och koldioxid och två andra koncept använder ren argongas eller ren kvävgas. Det förekommer en hel del argumentation om fördelarna och nackdelarna med de olika gasblandningarna ur toxicitetssynpunkt. Oavsett den rena gasens toxicitet så bör man alltid lämna ett utrymme som det brinner i. Branden alstrar en mängd produkter som kan vara giftiga.

Sett ur ett miljöperspektiv är samtliga dessa gaser attraktiva eftersom de ingående komponenterna redan finns naturligt i luft. De är inte heller toxiska, de är kemiskt stabila, icke konduktiva, icke korrosiva och relativt billiga.

I nedanstående tabell listas de inertgaser som är aktuella, gasblandning och det produktnamn som används.

**Tabell 1 Vanligt förekommande inerta gaser för brandsläckning.**

Blandgas	Innehåll	Produktnamn
IG-01	100% Ar	Argon, Argotec
IG-55	50% N <sub>2</sub> , 50% Ar	Argonite
IG-541	52% N <sub>2</sub> , 40% Ar, 8% CO <sub>2</sub>	INERGEN
IG-100	100% N <sub>2</sub>	Kvävgas, Nitrogen

De ovan beskrivna inertgaserna kan inte tryckkondenseras som ren koldioxid och de halogenerade gaserna kan. Behållarna kommer därmed att kräva större plats även om det är vanligt att gaserna är trycksatta i behållarna till 300 bar. Däremot påverkas inte sikten i rummet då gasen strömmar ut, förutom att damm och brandgaser kan röras runt.

Beroende på vad som skall släckas och släckmedlet så kan det vara en mycket liten skillnad mellan hälsofarlig- och släckande koncentration. Systemen dimensioneras normalt så att släckkoncentrationen uppnås inom 60 sekunder. Det kan vara problem för inertgassystemen att nå en fullständig omblandning i släckrummet. Utströmningsdysornas egenskaper och placering har stor betydelse för omblandningen liksom obstruktioner i rummet. Läckage är som tidigare nämnts också en faktor som måste tas hänsyn till. Särskilt om skillnaden är liten mellan släckkoncentrationen och den koncentration som systemet dimensioneras för. Densiteten ligger dock nära lufts så släckkoncentrationen i ett utrymme kan upprätthållas under lång tid.

System projekteras och installeras normalt enligt den svenska och europeiska standarden SS-EN 15004-1 till SS-EN 15004-10, "Fasta släcksystem - Gasläcksystem" med de kompletterande krav som anges i SBF 500:3, "Regler för gasläcksystem 2008", som publiceras av Brandskyddsföreningen.

Om systemet dimensioneras för en släckande gaskoncentration som ger en syrehalt över 12% skall utrymning ske när utrymningssignal avges eller gasen strömmar in i utrymmet. För dimensionering som ger syrehalt mellan 10% - 12% krävs utrymningssignal och en tidsfördröjning innan aktivering av systemet. För dimensionering som ger syrehalt lägre än 12% krävs en mekanisk blockeringsventil för att förhindra utströmning när personer tillfälligt befinner sig i utrymmet.

#### Halogenerade släckgaser

Till skillnad från inertgaserna så sönderdelas gaserna i denna grupp då de når branden. Delar av släckmedlet deltar sedan i förbränningsprocessen där de troligen absorberar fria radikaler och på detta sätt avbryter förbränningen. Halogenerade gaser har även en energiupptagningsförmåga på samma sätt som inertgaserna men det råder en viss oenighet om betydelsen av denna.

Då dessa gaser är tryckkondenserade uppstår samma typ av siktförsämring i rummet vid utströmningen som med koldioxid. Systemen dimensioneras för mycket snabb utströmning, helst kortare tid än 10 sekunder.

Av de alternativa halogenerade släckmedlen så är en del reglerade enligt FN:s Montrealprotokoll för produktionsstopp under början av 2000-talet. Andra, t

ex de FC- och HFC-föreningarna, alltså gaser som består av väte, fluor och kol, är inte reglerade i Montrealprotokollet men har en så kallad "växthuseffekt", det vill säga de kan bidra till en ökande medeltemperatur på jorden, vilket kan leda till att de kan drabbas av framtida regleringar.

Giftigheten hos halogenerade släckgaser är mycket viktig. Det gäller både den rena opåverkade gasens giftighet och giftigheten hos nedbrytningsprodukterna. Som nämntes i inledningen så sönderdelas en del av ett halogenerat släckmedel under släckningen. Sönderdelning kan dels orsakas av hög temperatur dels hydrolyseras halogenerade kolväten i närvaro av vattenånga. Vattenånga bildas som bekant vid förbränning av kolföreningar. Vid nedbrytning bildas dels rena halogener i form av Cl<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> och Br<sub>2</sub> dels syror som HF, HCl eller HBr. Dessa syror är inte bara toxiska utan även starkt korrosiva. I en del fall med nya alternativ till halonerna har man funnit karbonylföreningar av typen COF<sub>2</sub> eller COCl<sub>2</sub> (fosgen), etc, vilka har hög toxicitet.

Den mängd nedbrytningsprodukter som bildas varierar mellan olika släckmedel, men är enligt en undersökning direkt proportionell mot brandens storlek och släcktiden. Stor brand och lång släcktid ger hög koncentration nedbrytningsprodukter och vice versa. Släckningstiden i sin tur påverkas bland annat av utströmningstiden och släckmedelskoncentrationen. Det är därför av vikt att släcksystem som innehåller halogenerade ämnen dimensioneras och installeras med största noggrannhet för att undvika höga halter av nedbrytningsprodukter.

De halogenerade gaserna har generellt en hög densitet jämfört med luft och är därför känsliga för lågt placerade läckageareor.

System projekteras och installeras normalt enligt den svenska och europeiska standarden SS-EN 15004-1 till SS-EN 15004-10, "Fasta släcksystem - Gasläcksystem" med de kompletterande krav som anges i SBF 500:3, "Regler för gasläcksystem 2008", som publiceras av Brandskyddsföreningen.

### 7.2.2 Vätskebaserade släckmedel

Till vätskebaserade släckmedel hör vatten och skum. Vatten har många fördelar, det är billigt, inte toxiskt och utgör ingen fara för den yttre miljön. Erfarenheterna visar att vattendimma kan dämpa eller släcka pool- och spraybränder i brandfarlig vara och att det kan användas som ett alternativ till traditionell sprinkler. En nackdel med vatten är att det är elektriskt ledande.

#### Vatten

Vatten har många fördelar, det är billigt, inte toxiskt och utgör ingen fara för den yttre miljön. Erfarenheterna visar att vatten i form av "vattendimma" kan dämpa eller släcka pool- och spraybränder i brandfarlig vara och att det kan användas som ett alternativ till traditionell sprinkler. En nackdel med vatten är att det är elektriskt ledande.

Vatten är ett mycket effektivt släckmedel, främst för dess förmåga att absorbera värme, framförallt vid fasövergången från vätske- till gasfas. Släckmekanismerna kan i huvudsak sägas bestå av fyra olika delar:

1. Nedkylning av varma brandgaser
2. Nedkylning av bränsle och potentiella brandområden
3. Reduktion av syrekoncentrationen
4. Absorption av värmestrålning

De två sistnämnda punkterna har störst genomslag vid bränder i slutna utrymmen med låg grad av ventilation. Absorptionen av värmestrålning sker främst om vattnet tillförs brand i form av (små) vattendroppar. Vid bränder med höga effekter, exempelvis spraybränder, är absorptionen av värmestrålning en avgörande parameter.

Vid förångning sker en energitransport från gasen till vätskan, vilket leder till att vätskemolekylen får energi nog att lämna droppen i form av gas. Förångningshastigheten är direkt proportionell mot tillgänglig vätskearea och denna beror i sin tur av dropparnas storlek. Därför har små droppar större släckförmåga än stora droppar.

Sprinklersystem projekteras och installeras normalt enligt den svenska och europeiska standarden SS-EN 12845, "Automatiska sprinklersystem – Utförande, installation och underhåll" med de kompletterande krav som anges i SBF 120:6, "Regler för vattensprinkleranläggning", som publiceras av Brandskyddsföreningen.

System av typen vattendimma kan projekteras och installeras enligt den svenska och europeiska tekniska specifikationen 14972, "Vattendimmsystem – Utförande och installation" men det är också vanligt att installation görs i enlighet med NFPA 750, "Standard on Water Mist Fire Protection Systems" som publiceras av den amerikanska brandskyddsföreningen National Fire Protection Association".

### Skum

Skum är ett av de vanligaste släckmedlen och används mot olika bränder, men främst mot vätskebränder (klass B-bränder). Men det finns även skum avsett för fibrösa material (klass A-bränder). Skum har i princip tre beståndsdelar: vatten, skumbildare och gas. Gasen är nästan uteslutande luft men kan även bestå av koldioxid, eller i vissa fall brandgaser.

Vid klass A-bränder tillsätts lite skumvätskeinblandning för att sänka ytspänningen hos vattnet, som då mycket effektivare tränger in i och släcker glöd i porösa material. Så lite som 0,1% inblandning ger en radikal minskning av vattnets ytspänning och därmed en stor förbättring av inträngningsförmågan. Vid klass B-bränder påförs skummet som flyter ut över bränsleytan och hindrar återstrålningen från flammorna vilket radikalt minskar förgasningen av brännbara gaser att nå luften, samtidigt som bränsleytan kyls av skummet.



### 7.2.3 Släckmedel i fast form

Hit hör pulver och pyrotekniskt genererade aerosoler.

#### Pulver:

Pulver är släckmedel som i första hand rekommenderas till handbrandsläckare tack vare dess höga släckkapacitet i förhållande till priset.

Det finns ett antal olika pulversorter på marknaden, se Tabell 2. Ofta består pulver för brandsläckning av blandningar av olika salter. Salter är normalt uppbyggda av natrium, kalium eller ammonium i kombination med klorid, sulfat, vätekarbonat eller divätefosfat. Det finns med andra ord ett stort antal möjliga kombinationer. Den vanligaste pulversorten är ammoniumdivätefosfat. De flesta pulversorter är känsliga för fukt. Ofta tillsätter man därför fuktskyddsmedel, exempelvis silikon eller magnesiumstearat..

**Tabell 2. De vanligaste egenskaperna hos några pulversorter. Sorterna är ungefärligt rangordnade med mest effektiva mot B-bränder först.**

Namn	Kemisk beteckning	Pulvertyp (ABC)*
Kaliumklorid	KCL	BC
Kaliumvätekarbonat	KHCO <sub>3</sub>	BC
Ammoniumdivätefosfat	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	ABC
Dikaliumkarbonat	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	BC
Natriumklorid	NaCl	BC
Kalciumkarbonat	CaCO <sub>3</sub>	BC

\* A: Fibrösa bränder, B: Vätskebränder och C: Gasbränder

Fördelar:   Hög släckkapacitet

Nackdelar:  Starkt korrosivt, komplicerad sanering och fukt känsligt.

Fasta släcksystem med pulver är inte så vanliga i Sverige men förekommer i andra länder, ofta för punktskydd. En tillämpning är skydd av transformatorer.

#### Pyrotekniskt genererade aerosoler:

Aerosoler utgörs av fasta eller vätskeformiga partiklar som är dispergerade (fördelade) i en gas. Tekniken att distribuera aerosolen kan delas in i dispersions- och kondensationsmetoder. Dispersionsmetoden innebär att fast material mekaniskt finfördelas till pulver. Pulvret packas sedan i behållare som trycksätts med en gas (drivgas). Kondensationsmetoden innebär att en substans i fast fas antänds och bildar en upphettad ånga. När ångan kyls kondenserar den och en aerosol med små partiklar bildas. Sättet kallas allmänt även för *pyrotekniskt genererade aerosol*, och har den fördelen att det inte behövs några trycksatta behållare, rör, ventiler eller munstycken för att distribuera släckmedlet. De pyrotekniskt genererade aerosolerna är viktigtvis mycket effektiva; experimentella resultat och uppgifter från tillverkare indikerar en effektivitet på ca 3 – 10 gånger bättre än Halon 1301.

Hälsoriskerna med aerosolsläckmedel är viktiga att beakta och är inte fullständigt utredda. De mycket små partiklarna kan ta sig ner i lungorna och kan vara mycket skadliga, särskilt om de för med sig något giftigt lättlösligt ämne. Kolmonoxid, som blockerar syreupptagningsförmågan, kan bildas i större eller mindre kvantiteter.

På grund av en starkt nedsatt sikt är de pyrotekniskt genererade aerosolerna endast godkända för obemannade utrymmen.

Fördelar: Mycket hög släckverkan i förhållande till vikt  
 Nackdelar: Endast godkända för obemannade utrymmen samt hälsoaspekten och viss sanering

En omfattande sammanställning och beskrivning av tekniken redovisas av Kangedal et al. [11].

#### 7.2.4 Explosionsdämpande system

Det bästa sättet att förhindra en explosion eller deflagration är att ersätta, eliminera eller inertera de material eller ämnen som står för risken. Om inte det är möjligt kan skadorna reduceras genom någon form av tryckavlastning eller genom att göra konstruktionen så stark att den klarar tryckökningen. Om ingen av dessa passiva lösningar är möjliga återstår att installera ett aktivt explosionsdämpande system.

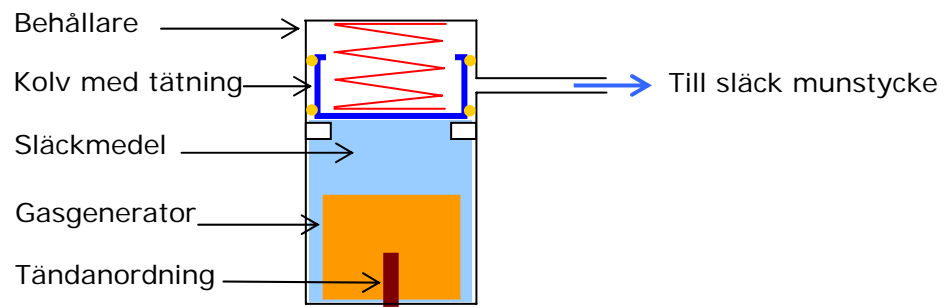
Ett explosionsdämpande system består normalt av en eller flera detektorer, ett rörsystem med en eller flera munstycken för att distribuera släckmedlet och en kontroll- och övervakningsenhet.

En explosion är inte omedelbar, vanligen tar det mellan 30 – 100 ms innan skadliga tryck har byggts upp i en inneslutning. Den valda detektorn måste kunna detektera en explosion mycket tidigt efter antändning. Det finns tre vanliga typer av detektorer, termoelektriska, optiska och tryckdetektorer.

Den idag förbjudna gasen Halon 1301 användes tidigare för explosionsdämpning [12]. Ett flertal gaser finns som ersättning för Halon 1301 [13] och dessas effektivitet diskuteras i referens [14]. Även pulver används och natriumbikarbonat har till och med uppvisat en bättre släckförmåga per massenhet än Halon 1301 för vissa applikationer [14]. Explosionsdämpning med hjälp av vattendimma har visat sig vara mindre effektivt [15]. I moderna applikationer används en pyroteknisk laddning för att snabbt skapa och sprida vattendimman [16]. En god initial dämpande eller släckande effekt uppnås på detta sätt men återantändning sker om värmekällor finns tillgängliga. En beskrivning av ett utförligt försöksprogram för olika metoder för explosionsdämpning applicerat på transformatorer ges i referens [3].

FM Global ger detaljerade rekommendationer för val och installation av explosionsdämpande system i referens [17].

Det finns idag släcksystem som skyddar personal inne i stridsfordon. Dessa går under benämningen hybridsläckare och aktiveras via flamdetektorer och släcker inom en kvarts sekund, se Figur 5.



*Figur 5. Principskiss för hybridsläckare med vatten och eventuell tillsats. Gasgeneratorn består av en homogen "krutladdning" som aktiveras med tändanordning. Experiment har visat att systemet kan släcka en spraybrand inom 250 ms.*

## 8 Förslag till skydd för transformatorer och reläverksamhet med support

Vid en brand, eller incident som kan leda till brand, ger en tidig upptäckt och omedelbar åtgärd en minimerad skadebild. De flesta ställverk är obemannade. Det förekommer underhållsverksamhet under begränsad tid men till största delen har ställverken ingen personal på plats. Många anläggningar ligger också långt från tätbebyggt område vilket medför långa utryckningstider för räddningstjänst och ansvarig personal. Vår utgångspunkt är därför att föreslå åtgärder som ger minsta möjliga stilleståndstid vid brand eller incidenter som kan leda till brand. Det är också viktigt att kunna övervaka och styra skeenden på distans. Resultatet av denna studie kan sammanfattas i följande rekommendationer.

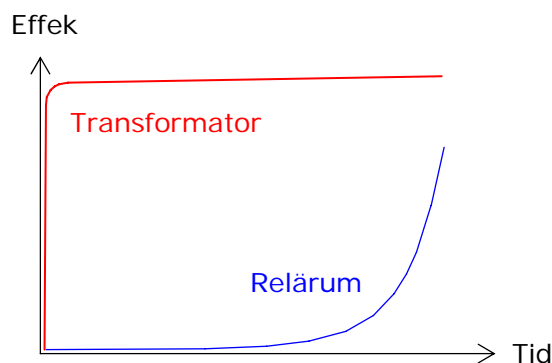
1. Möjliggör tidig upptäckt med hjälp av högklassig detektionsutrustning.
2. Möjlighet att omedelbart identifiera problemet, från bemannad station, exempelvis via fjärrkamera, eller annan metod.
3. Möjlighet att koppla bort problemområdet från kraftkällan efter identifierad incident.
4. Det bör finnas släcksystem som aktiveras automatiskt via detektion eller manuellt (fjärrutlösning).
5. Man bör använda släckmedel för relärum som inte skadar elektronikprodukter.
6. Särskilja redundanta system
7. Täta genomföringar för att förhindra brandspridning och skadlig påverkan av brandgaser i angränsande rum.
8. Man bör utveckla släcksystem för transformatorer som kan aktiveras före brand utbryter.
9. Möjliggöra access även i strömlöst tillstånd
10. Viss överkapacitet på transformatorn

### 8.1 Brandförlopp

För att kunna välja rätt produkter för detektion och brandbekämpning måste vi till en början bestämma de typiska brandförloppen som förekommer i ett ställverk.

Relärum med telekommunikation, övervakning, styr och reglerutrustning innehåller mycket elektronik. Dessa produkter ger förhållandevis långsamma brandförlopp. Lokalt i ett kretskort kan det uppstå snabba uppvärmningsförlopp men medelvärdet i rummet ger låga effekter. I rum för likriktare och växelriktare samt i batterirum förekommer högre effekter som kan ge snabbare uppvärmningsförlopp och snabbare brandförlopp. Batterirum har enkla installationer varför riskerna bör kunna hållas på en mycket låg nivå.

Starkströmsprodukter som transformatorer och reaktorer innebär helt andra scenarier med explosionsartade förlopp som kan ge bränder med mycket höga effekter.



Figur 1. Typiska brandförlopp för transformatorer respektive relärum

I fallet med transformatorbrand måste detektering och släckinsats vara omedelbara om det ska gå att förhindra brandskador. Här finns mycket kraftiga signaler att trigga på och detekteringen borde kunna lösas med befintlig säkerhetsutrustning plus några kompletteringar.

För brand i relärum är saken den motsatta, med vanligtvis en mindre uppvärmning i ett stort rum. Utspädningen är stor och initialt är signalerna därför mycket svaga. Vill man åstadkomma en tidig upptäckt måste detekteringen ske i direkt anslutning till källan.

För vissa stationer, främst äldre, är flera funktioner placerade i samma lokal. Till exempel kan batterier, växelriktare, reläverksamhet och telekommunikation alla vara samlade i en lokal. I dessa fall bör försiktighetsprincipen användas och skyddsbehov och problematik bör adderas för alla ingående funktioner och gälla över hela rummet. Ur brandsynpunkt bör redundanta system skiljas rent fysiskt, på så sätt att de placeras i olika apparatskåp. Ibland kan även skilda rum vara lämpligt (Hallsberg och växelriktare).

## 8.2 Detektering

### 8.2.1 Detektering i relärum med support

Med "relärum med support" menas själva relärummet samt batterirum, rum för lik- och växelriktare och rum för telekommunikation. Sannolikheten för brand i relärum med support är störst i apparatskåpen med elektronik och strömförsörjning. Risknivån under installationsgolvet är relativt låg för nyare anläggningar på grund av reglering av antal lager kabel på kabelstegar. Däremot för äldre anläggningar kan man inte bortse från risken i dessa utrymmen.

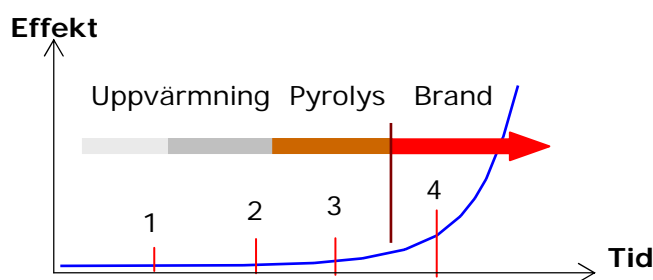
De långsamma brandförloppen i relärum ger initialt mycket svaga signaler och medför att en tidig detektering i rummet kommer att kräva extremt känslig apparatur, som i sin tur kan ge larm för olika händelser som inte är förknippade med brand, som exempelvis servicefolk på tillfälligt besök. Problemet kan undvikas om detektering sker över, eller i, varje apparatskåp. Detta går att lösa med separata detektorer eller aspirerande system.

Studerar man en brandeffektkurva typisk för relärum, är fasen med låg effekt förhållandevis lång. Det kan handla om tider upp till flera minuter. I det

enskilda apparatskåpet och det enskilda kretskortet eller komponenterna kan värmeutvecklingen vara hög men sett ur ett rums perspektiv är effekten mycket låg.

I figuren nedanför har vi angett fyra olika larmnivåer:

1. Mycket känsliga detektionssystem med placering i eller över varje apparatskåp. Denna nivå ger ett första larm, för att påkalla uppmärksamhet, och en indikation på att något kan vara på gång.
2. Känsliga detektionssystem med placering i eller över varje apparatskåp.
3. Konventionella detektionssystem med detektorplacering över varje apparatskåp.
4. Konventionellt rumsskydd med detektorplacering centralt i varje rum.



Figur 2. Det går att detektera brand eller händelser som kan leda till brand vid olika tider.

För att undvika att brand uppstår eller brandspridning till andra enheter i apparatskåpet, bör insatser sättas in omgående. Detta fordrar en mycket snabb detektering varpå följande bör ske:

1. Konfirmera att larmet är äkta. Kan göras genom diagnostik av rökintensiteten och med kamera, via länk.
2. Bryt strömmen till respektive apparatskåp (det är då viktigt med redundanta system i olika apparatskåp).
3. Aktivera släcksystemet.

Därefter invänta någon som på plats kan inspektera och åtgärda problemet.

### 8.2.2 Detektion i Batterirum

I separata batterirum bör det räcka med en slinga från det aspirerande systemet. Alternativt kan man komplettera med en detektor som känner av koncentrationen av gaser, från batteriladdningen, i rummet.

### 8.2.3 Detektion i Rum för lik och växelriktare

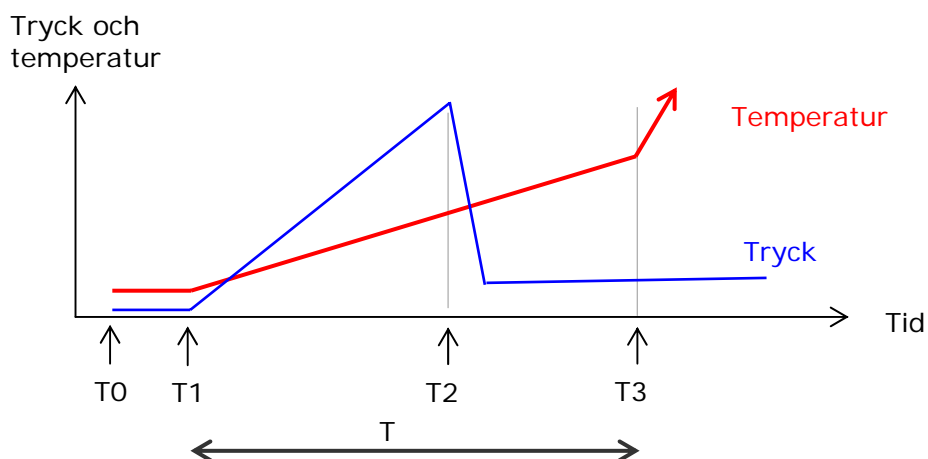
Detektion i rum för lik- och växelriktare kan likställas med detektion i relärum.

### 8.2.4 Detektion i rum för telekommunikation

Detektion i rum för telekommunikation kan likställas med detektion i relärum.

### 8.2.5 Detektion i samband med brand i transformatorer och reaktorer

En explosion i en transformator, som leder fram till brand, kan uppfattas som något där allt sker samtidigt. Men bryter man ut de olika händelser som ingår i skedet kan man se att det fordras en viss tid för varje händelse. Isoleringen i en transformator kan försämrats på grund av en mängd olika saker. Detta kan i sin tur ge upphov till ett kraftigt överslag med en ljusbåge, som i sin tur värmer upp oljan i dess närhet. Oljan kommer att förångas vilket i sin tur ger en expansion och tryckökning i oljetanken. När trycket nått en kritisk nivå kommer något att gå sönder i transformatorns skal varpå olja kommer att strömma ut och blandas med syre. När rätt bränsle – luftblandning har uppnåtts kan oljan börja brinna. Det är dock inte säkert att den antänder omedelbart på grund av att bränsle – luftblandning inte är homogen. Nedanför beskriver vi det principiella händelseförloppet, se Figur 6.



Figur 6. Principskiss över tryck och temperatur vid en transformatorexlosion.

- T0. Olika händelser startar upp en process som framöver leder till urladdning via ljusbåge.
- T1. Någon form av genomslag sker, som ger upphov till ljusbåge. En lokal uppvärmning i oljan ger upphov till en mycket snabb temperaturökning (röd kurva). Detta förångar oljan som leder till en kraftig gasbildning med en snabb tryckökning (blå kurva).
- T2. Trycket har brutit sönder transformortanken som börjar läcka. En porslinsisolator kan ha lossat/exploderat i transformortankens tak och orsakat ett stort hål. Trycket gör att olja blandat med förångad olja trycks ut genom hålet. Utanför transformortanken bildar olja och luft en brännbar blandning.

- T3. Glödande metall eller rester av plasma från ljusbågen kommer i kontakt med den brännbara blandningen, utanför tanken, och antänder den.
- T. Tiden  $T_1$  ( $T = T_3 - T_1$ ) är den tid vi har till förfogande för att:
1. Detektera händelsen, som kan leda till explosion.
  2. Aktivera släcksystemet.
  3. Få fram släckmedel till läckagestället i transformator tanken.

Om det finns möjligheter att detektera någon/några händelser, som kan leda till försämrad isolationsförmåga, före tiden  $T_1$ , skulle dessa kunna ingå som villkor i aktiveringen av släcksystemet och kunna förhindra onödig utlösning.

### Elektriska skydd

För att förhindra bl. a. skadlig effektutveckling (ljusbåge, brand) i ett elkraftssystem finns särskilda skyddssystem. I högspänningsanläggningar består detta bl. a. av ett reläskyddssystem som kontinuerligt mäter ström och/eller spänning via mättransformatorer (mätzon). Reläskyddssystemet är inställt för att reagera på onormala drifttillstånd, t ex överström, och aktiverar brytorgan som bryter strömmen till ett felställe. Grundprincipen är då att endast aktivera de brytorgan (bortkopplingszonen) som behövs för att koppla bort den felande anläggningens del (skyddszone) så att driften av nätet som helhet förblir i princip ostörd. För att ett fel ska kunna isoleras från det övriga nätet krävs således att det befinner sig inom såväl mätzon som bortkopplingszon. Skyddssystemet för en anläggning måste därför byggas så att samtliga anläggningsdelar innefattas i minst en sådan skyddszone.

Frånkopplingen av ett fel (strömbrytning) ska ske så snabbt som möjligt för att minimera skadeverkningarna i och runt felstället. För högspänningsbrytare gäller allmänt att brytning sker först vid en nollgenomgång hos strömmen. Detta innebär att mediet mellan brytarens kontakter måste övergå från att vara en god ledare till att vara en god isolator på några få mikrosekunder. Dessutom ska den dielektriska hållfastheten mellan kontakterna snabbt stiga till höga värden vilket görs genom användning av lämpliga släckmedia (gas, vätska) inuti brytaren och hastig mekanisk separation av dess kontakter. Vid brytning sker dock ett antal nytändningar av ljusbågen mellan kontakterna innan strömmen slutligen är permanent bruten i en av sina nollgenomgångar. Bryttiden blir på detta sätt styrd av växelströmmens periodtid. Reläskydd och tillhörande brytare kan på detta sätt inte ge felbortkopplingstider kortare än ca 2 växelströmsperioder (40 ms vid 50 Hz). Extremt snabba brytningar är inte heller önskvärdt då dessa ger upphov till höga överspänningar som kan skada annan utrustning i el-anläggningen.

En komponent i ett elkraftssystem som är nödvändig för funktionen och som är svår att ersätta är krafttransformatorn och i det följande begränsar vi behandlingen till denna komponent. Krafttransformatorer är försedda med en tämligen omfattande skyddsutrustning i form av reläskydd och vakter. För större transformatorer omfattar reläskydden:



<b>Reläskydd</b>		
<b>Benämning</b>	<b>Funktion</b>	<b>Skydd</b>
3-fasigt strömdifferentialskydd	Skickar signal till brytare vid skillnad mellan upp- och nedspänningssidans ström	1
Underimpedansskydd / Överströmsskydd	Skickar signal till brytare om strömmen antar orimliga värden (fungerar som en säkring)	2
Brytarfelsskydd	Skickar signal till andra brytare om den närmaste brytaren felar	1
Nollpunktsströmskydd / Jordströmsskydd	Bryter vid överledning mellan fas och jord	2
Spänningsskydd (nollspänningsautomatik)	Kopplar bort spänningslösa delar av nätet för att ge ett definierat läge inför återuppbyggnad (spänningssättning)	1

<b>Vakter</b>		
<b>Benämning</b>	<b>Funktion</b>	<b>Skydd</b>
Gasvakt	1. Larmar vid förgasning av oljan 2. Larmar vi för höga flöden mellan tank och expansionskärl	2
Temperaturvakt	mätning av drifttemperatur, långsam reaktion	1
Nivåvakt	larmar vid för låg oljenivå i expansionskärlet	1
Explosionsvakt	Mäter oönskade tryckökningar	1

Vid interna fel i transformatorn ska denna kopplas bort. För att uppnå en god skyddsverkan delas skydden ofta in i två redundanta system där det ena omfattar strömdifferentialskydd, explosionsvakt, spänningsskydd, brytarfelsskydd, temperaturvakt och nivåvakt. Det andra systemet omfattar då underimpedansskydd/överströmsskydd, nollpunktsströmskydd, jordströmsskydd, samt gasvakt.

Vid ett internt fel där det inträffar ett genomslag genom fast isolering har en permanent skada redan uppstått innan skyddssystemet hinner reagera. Skyddssystemets uppgift blir då att begränsa följdskadorna, exempelvis explosion eller brand. Vid ett så pass allvarligt internt fel i transformatorn kommer troligen flera skydd att reagera ungefär samtidigt. De skydd som snabbast reagerar är sannolikt 3-fasigt strömdifferentialskydd, underimpedansskydd/överströmsskydd, jordströmsskydd, nollpunktsströmskydd, explosionsvakt och/eller gasvakt. Vid denna typ av fel kommer inte strömmen att kopplas på igen.

Samtliga, med undantag för *explosions- och gasvakt*, baseras på indikering av att en elektrisk storhet antar onormala värden. För explosions- och gasvakt baseras istället indikeringen på att *onormala tryck eller flöden* uppstår hos den oljefyllda transformatorntanken. Vid ett internt fel tar det dock en viss tid innan en t ex en onormal ström eller ett onormalt tryck har byggts upp, dvs till dess reläskyddet eller vakten kan fås att reagera. Ett sätt att nå snabbare indikering av ett fel med ljusbåge skulle då kunna vara användning av ljusbågvakter som optiskt reagerar momentant på ljuset från en ljusbåge.

Ljusbågsvakter är dock komplicerade att applicera inne i en transformator tank eftersom dess interna geometri kräver ett stort antal sensorer för att säkert fånga ljuset från alla tänkbara felställen. Med tanke på högspänningsbrytarens bryttid blir tidsvinsten för fränkopplingstiden måttlig (troligen högst ca 10 ms kortare för ljusbågsvakt vid jämförelse med ett strömkännande reläskydd).

#### **Användandet av elektriska skydd för detektion av brand**

Målet är att förhindra brand, eller släcka den i ett så tidigt skede att brandskadorna blir obetydliga. Under dessa förutsättningar är det uteslutet med vanliga branddetektorer, på grund av att de reagerar för sent, det vill säga på händelser som vi vill undvika. Brandförloppen är ofta mycket snabba vid transformatorbränder, men det finns en rad händelser före brandens start som redan registreras. Med signaler från reläskydd och/eller vakter borde det vara möjligt att starta ett släcksystem. Det är tänkbart att en villkorad signal från exempelvis strömdifferentialskydd och gasvakt skulle kunna användas. Trögheten i gasvaktens flödesbrytare kan göra att det kan vara nödvändigt med ytterligare en tryckvakt som är anpassad just för detta ändamål.

### 8.3 Släcksystem

#### 8.3.1 Släcksystem i Relärum

Vi rekommenderar att släcka med inertgaser på grund av att dessa inte påverkar elektroniken negativt. Om ett system aktiveras på grund av ett falskt larm kan anläggningen köras som vanligt utan att någon sanering behöver vidtas. Övriga gasformiga släckmedel kommer att ge mer eller mindre oönskade effekter. Om gasen distribueras direkt i elektronikskåpen kommer släckande koncentration att uppnås redan inom några sekunder.

Den utströmmande gasen ger upphov till en tryckökning som inte får bli för stor. Samtidigt måste rummet vara så tätt att släckkoncentrationen upprätthålls under en tillräckligt lång tid så att återantändning förhindras. Samma förhållanden gäller såväl under som över mark.

#### 8.3.2 Släcksystem i Batterirum

Den stora risken i batterirum är explosion av knallgas, men i övrigt är brandriskerna låga. Det kan också uppstå fel i någon battericell som då ger värme. Vi anser att batterirummet kan skyddas av samma släcksystem som övriga angränsande rum i reläverksamheten. Alternativt kan det vara intressant att bryta strömmen för att förhindra stor energiurladdning. Samma förhållanden gäller såväl under som över mark.

#### 8.3.3 Släcksystem i Rum för lik och växelriktare

Samma som för relärum. Samma förhållanden gäller såväl under som över mark.

#### 8.3.4 Släcksystem i rum för telekommunikation

Samma som för relärum. Samma förhållanden gäller såväl under som över mark.

### 8.3.5 Släcksystem i transformatorer och reaktorer

Sannolikt behövs ett kombinationssystem för att släcka en transformator som exploderar. Ett extremt snabbt system, se t.ex. kapitel 7.2.4 som tar hand om de flammor som kan uppkomma under de första sekunderna. Därefter tar ett snabbt system med vattendimma över och förhindrar antändning och/eller återantändning.

Efter den första snabba släckinsatsen måste ett mer konventionellt släcksystem aktiveras. Detta bör bestå av en kombination av vattendimma (mycket små vattendroppar) och sprinkler (större vattendroppar) för att förhindra att brand uppstår samt att effektivt kyla. Dessa system måste utvecklas så att de kan startas upp inom någon sekund, annars finns det möjlighet att oljedimman antänds. För transformatorer i berggrum måste det finnas en effektiv tryckavlastning som kan lösas ut vid en eventuell explosion.

## 9 Slutsatser och rekommendationer

Vid en brand, eller incident som kan leda till brand, ger en tidig upptäckt och omedelbar åtgärd en minimerad skadebild. De flesta ställverk är obemannade. Det förekommer underhållsverksamhet under begränsad tid men till största delen har ställverken ingen personal på plats. Många anläggningar ligger också långt från tätbebyggt område vilket medför långa insatstider för räddningstjänst och ansvarig personal.

Vår utgångspunkt är därför att föreslå åtgärder som ger minsta möjliga stilleståndstid vid brand eller incidenter som kan leda till brand. Det är också viktigt att kunna övervaka och styra skeenden på distans. Resultatet av denna studie kan sammanfattas i följande rekommendationer.

1. Möjliggör tidig upptäckt med hjälp av högklassig detektionsutrustning.
2. Möjlighet att omedelbart identifiera problemet, från bemannad station, exempelvis via fjärrkamera.
3. Möjlighet att koppla bort problemområdet från kraftkällan efter identifierad incident.
4. Det bör finnas släcksystem som aktiveras automatiskt via detektion eller manuellt (fjärrutlösning).
5. Man bör använda släckmedel för relärum som inte skadar elektronikprodukter.
6. Särskilja redundanta system
7. Täta genomföringar för att förhindra brandspridning och skadlig påverkan av brandgaser i angränsande rum.
8. Man bör utveckla släcksystem för transformatorer som kan aktiveras före brand utbryter.
9. Möjliggöra access även i strömlöst tillstånd
10. Viss överkapacitet på transformatorn

Enligt kontakter med representanter för elkraftbranschen specificeras kapacitetskraven vid upphandling enligt uppskattad maximal belastning, och inte mer. Det är sannolikt att en överdimensionering skulle minska felfrekvensen.

Generellt gäller att teknisk personal bör finnas i beredskap så att de kan anlända till en station och koppla från brinnande delar på samma tid eller snabbare än tiden det tar för Räddningstjänsten att nå stationen. Om inte

detta är genomförbart måste någon ur räddningstjänsten ha utbildning så att man i samarbete med t.ex. Råcksta kan bryta strömmen på plats.

Strömtillförsel till öppningsmekanismer och liknande bör säkerställas så att inte t.ex. passage genom en grind hindras pga. branden själv eller pga. att elbolaget slagit ifrån strömmen för att möjliggöra en släckningsinsats. Alternativt bör det finnas ett icke elektriskt reservförfarande.

Kostnaderna för att implementera ett gott brandskydd enligt ovan kan uppfattas som relativt höga. Dessa kostnader bör dock jämföras med kostnaden för ett längre avbrott i något av de viktigaste ställverken. En prioriteringslista bör upprättas på nationell nivå som rangordnar den strategiska betydelsen av de större ställverken i landet. En sådan lista kan sedan användas för att planera investeringar i brandskydd för såväl existerande som projekterade stationer.

### 9.1.1 Rum för reläverksamhet och support

Risk för att brand ska uppstå varierar starkt med ålder, material och byggnadssätt. Vid en brand, eller incident som kan leda till brand, ger en tidlig upptäckt och omedelbar åtgärd en minimerad skadeblid. Nedanför följer några viktiga åtgärder som kan förhindra att brand uppstår eller minimera verkningarna av brand i utrustning och byggnader med reläverksamhet.

1. Inför högklassig rökdetektion för att kunna ge en tidig indikation om händelser som kan leda till brand. Systemet skall vara av aspirations typ.
2. Bryt strömmen för att stoppa energitillförseln. Detta stoppar uppvärmningen av detaljer och förhindrar eller begränsar brand i berörda apparatskåp.
3. Särskilja redundanta system (placeras i olika apparatskåp).
4. Inför ett automatiskt släcksystem som distribuerar släckmedlet direkt i elektronikskåpen för att få maximal släckverkan på kortast tid.
5. Använd ett rent släckmedel såsom en inertgas för att inte skada övrig utrustning.
6. Sektionera lokalerna för att begränsa brandspridning.
7. Täta alla kabelschakt för att förhindra rökspridning mellan brandceller.
8. Täta ventilationssystem för att förhindra rökspridning och syretillförsel till en rumsbrand. Samt förhindra utarmning av släckgas.
9. Inför kameraövervakning.
10. Skapa hög passiv brandsäkerhet genom rätt materialval i golv, väggar och tak.

### 9.1.2 Transformatorer och reaktorer

En transformatorbrand har ofta ett explosionsartat förlopp vilket fordrar ett släcksystem som kan aktiveras extremt snabbt. De enormt stora inmatade energimängderna gör att större metalldelar fås att glöda, vilket ger möjlighet till återantändning lång tid efter explosionen.

Till en början kan vi dela i en transformatorbrand i två delmoment. Först har vi en primärexplosion inne i transformatortanken som bryter sönder tanken på svaga ställen, skapar ett övertyck som slungar ut förångad olja samt en

del glödande metall. I steg två blandas oljedimma tillsammans med glödande metallskrot med luften utanför tanken och ger en sekundär explosion. Den primära explosionen ska i princip förhindras med de elektriska säkerhetssystem som redan finns. Den sekundära explosionen måste detekteras, "i god tid", före den inträffar för att starta ett system som kan förhindra att sekundärexplosionen eller sekundärbranden uppstår.

Sannolikt behövs ett kombinationssystem för att släcka en transformator som exploderar. Ett extremt snabbt system (beskrivet i 7.2.4) som tar hand om de flammor som kan uppkomma under de första sekunderna. Därefter tar ett snabbt system med vattendimma över och förhindrar antändning och/eller återantändning. Transformatorns "skal" bör också förses med någon form av tryckavlastningsluckor, det vill säga väl definierade ytor som kan ge vika vid primärexplosioner i transformatorntanken.

Efter den första snabba släckinsatsen måste ett mer konventionellt släcksystem ta vid. Detta bör bestå av en kombination av vattendimma (mycket små vattendroppar) och sprinkler (större vattendroppar) för att förhindra att brand uppstår samt att kyla effektivt. Dessa system måste utvecklas så att de kan startas upp inom någon sekund, annars finns det risk att oljedimman antänds. För transformatorer i bergrum måste det finnas en effektiv tryckavlastning som kan lösas ut vid en eventuell explosion.

## 10 Rekommendationer för vidare studier

En förbättring av brandskyddet inom de anläggningar som avses i denna rapport är en stor och långsiktig investering. En sådan investering bör föregås av en detaljerad analys för att utreda vad som är den optimala lösningen för att skydda olika typer av komponenter och anläggningar. Som nämndes redan i inledningen av denna rapport är kunskapsnivån vad gäller brandskydd av byggnader betydligt högre än för brandskydd av transformatorer. Därför är projektförslagen vad gäller transformatorer mer forskningsinriktade medan förslagen för byggnader mer handlar om utveckling och projektering.

### 10.1 Kontrollbyggnader

#### 10.1.1 Pilotstudie för en kontrollbyggnad

För att erhålla en konkret bild av vilka åtgärder som behövs och vilka kostnader som uppstår för att implementera ett avancerat brandskydd i en kontrollbyggnad väljs ett studieobjekt ut, t.ex. byggnaden i Horred. Ett antal förslag för brandskydd arbetas fram för denna kontrollbyggnad med olika typer av lösningar och med olika krav på tillförlitlighet, detektionstid och liknande. På så sätt fås en tydlig bild av hur valet och kravspecifikationen av brandskydd påverkar såväl den fasta kostnaden som driftskostnader. Resultatet från denna studie ger underlag för strategiska beslut om den framtida inriktningen av brandskyddet i existerande och nya anläggningar.

### 10.2 Transformatorer

Vi föreslår ett antal studier för att bedöma konsekvensen av transformatorexplosioner samt hur man kan lindra denna konsekvens med hjälp av släckmetoder eller genom mekanisk modifiering av själva transformatorn.

#### 10.2.1 Är explosionsdämpning möjligt?

En målande beskrivning av händelseförloppet vid en transformatorexplosion är: "Explosion, bara hände!". Detta kan uppfattas som en bristfällig analys men är en korrekt beskrivning av vad som händer sett från vårt tidsperspektiv. I själva verket föregås explosionen av ett komplext händelseförlopp inuti transformatorn men detta sker under mycket kort tid och det är därför endast möjligt att lindra skadan med hjälp av automatiska system, se kapitel 8.2.5. Om de automatiska systemen inte är tillräckliga för att undvika att en dimma av olja sprutar ur transformatorn är sannolikheten för explosion stor. Nedan presenteras två sammanhängande förslag på studier för att undersöka möjligheterna att släcka eller dämpa en exploderande transformator: Tidsskalan för en transformatorexplosion och anpassning av släcksystem till gällande tidsskala.

### Tidsskala för explosion

Arbetet går ut på att kunna bestämma och beräkna (uppskatta) tidsskalan från det att en ljusbåge uppstår till dess att en oljedimma sprutar ur transformatorntanken. För detta behövs kunskap om ljusbågars effektutveckling, transformatoroljans värmeledningsförmåga och förångningsentalpi i det breda spann av tryck och temperaturer som föreligger i en exploderande transformator samt mekaniska ingångsdata för en transformators inkapsling. Det kommer också att behövas kompletterande experiment för att erhålla rätt ingångsvärden för denna typ av beräkningar.

Genom att kombinera svarstiden hos befintliga elektriska skydd, se kapitel 8.2.5, med tiden det tar från att ljusbågen uppstår till dess att en oljedimma sprutar ut fås en uppskattning av hur snabbt ett släcksystem måste vara.

### Tillräckligt snabbt släcksystem

Baserat på tidsskalan ovan kan det bestämmas vilka system som har en möjlighet att släcka en transformatorexlosion. Tiden från att ett släcksystem aktiveras och fram till att det verkar med acceptabel effekt är en viktig faktor. En möjlighet kan vara att snabbt släcka med en effektiv gas för att sedan kontinuerligt kyla med sprinkler och vattendimma för att förhindra återantändning. Den största utmaningen blir sannolikt att tillräckligt snabbt distribuera släckmedlet så att det släcker explosionen innan den hunnit utvecklats så mycket att släckning inte längre är möjligt.

#### 10.2.2 Dämpa den transienta tryckuppbyggnaden vid en transformatorexlosion

Som komplement till släcksystem för transformatorer skulle man kunna tänka sig tryckavlastning i form av beräknade, och utprovade, försvagningar i transformatorns låda. Dessa tryckavlastningszoner ska sedan vara anslutna till kanaler med skydd som tar hand om den utströmmande oljedimman. Skydden bör dessutom innehålla någon form av flamspärri i form av kylande struktur i kombination med en inert atmosfär. Masströgheten i oljan och avstånden i större transformatorer gör att det kan vara lämpligt med fler tryckavlastningspunkter i transformatorskalet. För att minska effekten av den transienta tryckuppbyggnaden kan man försöka transformatorns inre med gasfjädrar som förlänger tiden till fullt tryck. Detta område bör utredas av sakkunniga.

#### 10.2.3 Vad är det värsta som kan hända?

Som framgick i kapitel 4.1 innehåller oljan i en 750 MVA-transformator tillräckligt med energi för att ödelägga ett mindre samhälle. Lyckligtvis visar dock historien att vid denna typ av explosioner förbränns långt ifrån all olja och den förbränning som sker dessutom inte nödvändigtvis i form av en explosion. Å andra sidan visar olyckan i Tonstad, se kapitel 3.2, att även en relativt liten oljefylld komponent kan ge katastrofala explosioner. Experiment har visat att mängden producerad gas är av betydelse för hur mycket energi som frigörs vid transformatorexlosioner. Denna mängd beror i sin tur på hur mycket energi som frigörs i ljusbågen vid fel [3]. Det är nödvändigt att åtminstone försöka skapa kunskap om sannolikheten för att en stor aerosolexlosion sker då en ljusbåge uppstår i en transformator. Detta innefattar ett mycket komplext händelseförlopp med bland annat plasmafysik, dissociation av olja, förångning av olja samt sprayexplosioner som viktiga processer. Detta projekt kan lämpligtvis inledas med en förstudie för att

undersöka kunskapsläget inom de ingående disciplinerna. På så sätt fås en uppfattning om hur det fortsatta arbetet bör ske för att uppskatta sannolikheter för olika typer av explosioner. Om kunskapsläget är tillfredsställande är det tillräckligt med en i huvudsak teoretisk studie men om kunskapsläget inte är tillfredsställande kommer ett omfattande experimentellt program att behövas.



## 11 Referenser

1. Hege Annie Granlund Tryggestad, Oddbjørn Gjerde, Geir Jensen, Mike Newman, Otte Naustvoll, Siri Augdal, and Harald Landro, *Sikringstiltak mot eksplosjon og brann i kraftanlegg*. 2000, InterConsult Group ASA: Trondheim. [http://www.sebk.biz/pdf\\_reports/Attachment5.pdf](http://www.sebk.biz/pdf_reports/Attachment5.pdf)
2. Ingrid Sihvo Broman. 2008.
3. Olav Roald Hansen, Brian Wilkins, and Anders Wiik, *Transformer explosions and suppression*. 2001, Large-scale hybrid hydrogen and transformer oil explosion with and without suppression. Phase 4 and 5 of SEBK project. <http://www.sebk.biz/>
4. Kjell Hertzberg, SvK. 2008.
5. *Safety measures to prevent explosion and fire in power plants*. 2002, Phase 1, Data collecting and evaluation of basic material, Gexcon, Norconsult. [http://www.sebk.biz/pdf\\_reports/Phase1-Main.pdf](http://www.sebk.biz/pdf_reports/Phase1-Main.pdf)
6. NEMA. in *National Emergency Management Association*. 1980
7. Sören Isaksson, *Påverkan av rök på elektronik*. . 2000, Brandforsk projekt 631-962, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut: Borås
8. T. J. Tanka, *Effects of smoke on Functional Circuits*. 1997, Sandia National Laboratories
9. *Svenska Kraftnät, Tekniska Riktlinjer*. 2006-08-25, Svenska Kraftnät
10. Magnus Arvidson and Henry Persson, *Koldioxids (CO2) påverkan på elektronik - släckning med låga koncentrationer*. 1993, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut: Borås
11. Peter Kangedal, Tommy Hertzberg, and Magnus Arvidson, *Pyrotekniskt generade aerosoler för brandsläckning - en litteraturstudie, Brandforsk projekt 507-991, 2001:28*. 2001, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut: Borås
12. H. Schilling, R. Pauli, F. Kummerlen, and R. Grabski. *Research and Development Program of the German Armed Forces Scientific Institute for Protection Technologies in the Field of Fire Protection and Halon Replacement*. in *Halon Options Technical Working Conference, 15th Proceedings*. 2005. Albuquerque, NM
13. P. J. DiNenno, *Halon Replacement Clean Agent Total Flooding Systems*, in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, P.J. DiNenno, et al., Editors. 2002, National Fire Protection Association: Quincy, Massachusetts. p. 4:173 - 4:200.
14. Anthony Hamins, Grzegorz Gmurczyk, William Grosshandler, Cary Presser, and Kalyanasundaram Seshadri, *Flame suppression effectiveness*, in *Evaluation of Alternative In-Flight Fire Suppressants for Full-Scale Testing in Simulated Aircraft Engine Nacelles and Dry Bays, NIST SP 861*, W.G. Grosshandler, R.G. Pitts, W.M., Editor. 1994.
15. Franco Tamanini. *Explosion suppression for industrial applications*. in *Solid Propellant Gas Generators: Proceedings of the 1995 Workshop*. 1995
16. Andrew Kim and George Crampton. *Water Mist System for Explosion Protection of an Armoured Vehicle Crew Compartment*. in *International Water Mist Association*. 2005
17. *FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 7-17*. March 1997, Revised May 2001, Factory Mutual Insurance Company
18. *About pollution*. <http://www.statnett.no/default.aspx?ChannelID=1242>

## Appendix: Exempel på brandtillbud i Sverige och Norge

Plats, År	Ref.	Komponent	Skador/orsak	Kommentarer
Hemlig ort, 2008		Transformator		
Hallsberg, 2007	[4]	Växelriktare	Skador på annan utrustning. Rökskador.	12:27 larm 14:15 Liksp. Till
Ringhals, 2006		Transformator	En brand vid en transformator i anslutning till reaktorn Ringhals 3.	Alla säkerhetssystem vid reaktorn trädde i funktion.
Tenhult, 2003	[4]	750 MVA transformator	Skada i genomföring som gett oljeläckage	Söder - Jönköping
Stenkullen, 2003	[4]	Transformator	Ingen vet någonting!	Ålder: 38 (1965 – 2003)
Kimstad ~2003	[4]	Växelriktare		Brand i vx-riktare
Skanstull 2003	[5]	220 kV kabelavslut	I samband med värnehållning under reparationsarbete	Utomhus
Rød (Norge), 2000	[5]	200 MVA 300 kV/132 kV transformator ovan jord [5].	Åsknedslag/explosion	<sup>a</sup>
Stornorrfors, 1999	[5]	500 MVA 150 kV/400 kV	Åsknedslag/explosion	<sup>b</sup>
Halden (Norge), 1997	[5]	160 MVA 420 kV/50 kV transformator	Kortslutning	<sup>c</sup>
Uvdal (Norge), 1996	[5]	150 MVA 9 kV/ 132 kV/ 300 kV	Överslag	<sup>d</sup>
Stenkullen ~1993		Växelriktare		Brand i vx-riktare
Stenkullen, 1992	[4]	Reaktor	Spekulationer från ABB om orsak.	
Borgvik 199X	[4]	Reaktor		Brand i reaktor
Värtan 1988	[5]	75 MVA 110/33 kV transformator	felaktigt hopsatt manöveraxel till LK	Utomhus
Danviken 1982	[5]	11 kV Kond. - batteri		Innomhus
Tonstad (Norge), 1973	[5]	Kabel-avslutning	Överslag	<sup>g</sup>

- a) 200 MVA 300 kV/132 kV transformator ovan jord [5]. Transformatorn var endast 14 år gammal. Under ett åskväder uppstod ett överslag mellan en fas och jord vilket ledde till att en fläns exploderade med oljedimma, oljebrand, kortslutningar och oljespill som följd. Två reparatörer hade på uppmaning lämnat transformatorgropen 20 minuter innan olyckan eftersom åskvädret närmade sig. Dessa hade avlidit om de varit kvar. Cirka 54 m<sup>3</sup> olja samlades upp efter olyckan men cirka 1,5 m<sup>3</sup> antas finnas kvar i den omkringliggande miljön samt ha transporterats iväg genom vattendrag [18].
- b) 500 MVA 150 kV/400 kV. Transformatorn hade använts i 14 år [5]. Under ett åskväder slog flera blixtrar ner i kraftledningarna vilket skapade ett överslag mellan en fas och jord. En ljusbåge uppstod med explosion som följd. Transformatorntanken förstördes helt men ingen olja läckte ut. Den efterföljande undersökningen visade att skadan i transformatorn berodde på axiella rörelser i den lägre delen av 400 kV - lindningen. Åldring konstaterades och kan ha bidragit till felet. Buchholzrelä, differentialskydd och överströmsskydd löste alla ut inom 100 ms.
- c) 160 MVA 420 kV/50 kV transformator [5]. Transformatorn fanns ovan jord och hade använts 21 år. En kortslutning uppstod i utgången till isolatorn (exit tube) vilket skadade utgångstuben och delar av tanken. Transformatorn exploderade, brann och orsakade ett massivt oljeutsläpp med över 80 ton olja som släpptes ut i en närliggande å. Händelsen filmades av en slump.  
(Haldenfilmen)
- d) 150 MVA 9 kV/ 132 kV/ 300 kV. Transformatorn hade använts i 30 år [5] Ett överslag med ljusbåge orsakade gasutveckling. Både Buchholzrelä och differentialskydd utlöste och räddade transformatorntanken. Transformatorn hade renoverats och oljan bytts två år innan olyckan. En konsultrapport konstaterade ett år innan olyckan att den återstående livstiden för transformatorn var minst 25 år!
- e) En 66 kV brytare kortslöts och en ljusbåge uppstod. Oljedimma spreds och exploderade. En hel byggnad förstördes. Grundorsaken till kortslutningen var en fågel som flög in i en ledning.
- f) Jordfel i en 22 kV brytare orsakade indirekt gasutveckling i en generator. En gnista i statorlindningen antände gasen och orsakade en kraftig explosion.
- g) En kabelavslutning innehållande 250 l mineralolja exploderade pga ett yttre överslag över porslinsavslutningen. Vid den primära explosionen, beroende på överslaget, spreds gaser och oljedimma i transformatorrummet. Denna orsakade sen en sekundär explosion som bland annat förstördes betongtaket i transformatorrummet. Brinnande olja och gaser kastades in i maskinhallen där allt brännbart fattade eld. Personal och utrustning i kontrollrummet skadades av flygande glasbitar från ett fönster mellan maskinhall och kontrollrum. Branden självslocknade efter cirka 5 minuter pga syrebrist.

Hela kraftstationen fylldes snabbt med svart rök vilket försvårade räddningsinsatsen. Tre personer avled: en p.g.a. av rökförgiftning, en p.g.a. glassplitter och en person föll p.g.a. den obefintliga sikten nedför en oskyddad avsats.