



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Betydningen av brannhemmende maling på kabler



Hovedprosjekt utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund - Avd. Haugesund - ingeniørfag

Studieretning: Sikkerhet, Brannteknikk

Av: Håkon Henry Sundene
Frode Aakre
Andreas Øien

Kandidatnummer 71
Kandidatnummer 1
Kandidatnummer 70

Oppgavens tittel Betydningen av brannhemmende maling på kabler.		Rapportnummer
Utført av Håkon Henry Sundene, Frode Aakre og Andreas Øien		
Linje Sikkerhet		Studieretning Brann
Gradering Åpen	Innlevert Dato 07 05 04	Veileder ved HSH Stefan Andersson
Oppdragsgiver Firesafe A/S		Kontaktperson hos oppdragsgiver Per Ulvedalen

Ekstrakt:

En brann i en transformatorstasjon vil kunne medføre store skader med tanke på strømstans som kan vedvare over lengre tid. Konsekvensene ved brudd i strømleveransen kan være store for samfunnet. Det er derfor viktig å beskytte disse stasjonene på best mulig vis. Rapporten tar for seg testing av brannhemmende kabelmaling som skal øke levetiden på kabler. Når denne malingen fungerer optimalt kan den være med på å spare samfunnet og strømleverandører for store kostnader.

HOVEDPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Håkon Henry Sundene
Frode Aakre
Andreas Øien

Linje & studieretning	Sikkerhet Brann
----------------------------------	-----------------

Oppgavens tittel:	<i>Betydningen av brannhemmende maling på kabler.</i>
--------------------------	---

Oppgavetekst:
<p>Norge er et energikrevende land, både i industrien og det private. Strøm distribueres via transformatorstasjoner, og feil i disse kan medføre store kostnader. En faktor som man trenger å ta hensyn til ved sikring av transformatorstasjoner er brann. En brann kan lett spre seg i kabelbroer og liknende, og samtidig utvikle store mengder giftige og korrosive gasser. Dette skaper et behov for å finne kostnadseffektive måter for å beskytte kabler i slike anlegg.</p> <p>I denne oppgaven skal en beskyttelse bestående av brannhemmende kabelmaling testes med tanke på dens evne til å hindre spredning av brann i strøm- og signalkabler, samt dens evne til å sikre en tilfredsstillende kabelfunksjon over tid.</p>

Endelig oppgave gitt:	
Innleveringsfrist:	Fredag 7. mai 2004 kl. 12.00
Intern veileder	Stefan Andersson
Ekstern veileder	Per Ulvedalen / Firesafe A/S

Godkjent av studieleder:	
Dato:	

Forord

Denne rapporten er skrevet som en obligatorisk og avsluttende del i den treårige branningeniørutdannelsen ved Høgskolen Stord/Haugesund. Prosjektet skal ha en bredde og arbeidsmengde som dekker 36 studiepoeng.

Vi fanget oppmerksomheten for kabelmaling høsten 2003 etter et besøk av Per Ulvedalen fra firmaet Firesafe, hvor han hadde en forelesning og fremvisning av brannsikringsutstyr.

Det er kun tatt hensyn på transformatorstasjoner i denne rapporten, men den henvender seg til alle bedrifter som ønsker å se på brannhemmende kabelmaling som brannsikringstiltak.

Ved gjennomføring av prosjektet har vi hatt et godt samarbeid med flere personer, og vi ønsker spesielt å takke:

Stefan Andersson	Høgskolen Stord/Haugesund (Intern veileder)
Per Ulvedalen	Firesafe A/S (Ekstern veileder)
Arjen Kraaijeveld	Høgskolen Stord/Haugesund (Biveileder)
Tore Steinsøy	Nexans Distrubisjon AS

Håkon Henry Sundene

Frode Aakre

Andreas Øien

Haugesund
05 mai 2004



Sammendrag

Rapporten tar for seg konsekvensreducerende tiltak for brann i en transformatorstasjon. Transformatorstasjoners oppgave er å levere strøm ut til bedrifter og husholdninger, og behandler strøm på opptil 50000V. Hvis det oppstår brann i en slik stasjon, er det viktig at den oppdages så tidlig som mulig, og at kablene som det føres strøm i opprettholder sin integritet så lenge som mulig. Det er i denne rapporten testet en brannhemmende kabelmaling som gjør at kablene kan opprettholde sin funksjon i lenger tid enn den vil gjøre uten. Fordelen med dette er at dette kan "kjøpe" tid for operatører for å styre strømmen inn på en alternativ strømkilde, og derfor unngå brudd til alle abonnenter.

Det er sett på forskjellige lovverk rundt branntekniske krav for denne type bygg, og det er tatt med testresultater fra forsøk av en spesifikk brannhemmende maling som er gitt av vår oppdragsgiver, Firesafe. Malingen heter Unitherm 38104, og er ekspanderende under branneksposering. Visse kriterier er gitt av oppdragsgiver under forsøket, men det er også utarbeidet fornuftige løsninger underveis for å kunne utføre forsøket på best mulig måte.

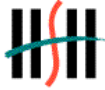
De utførte testene viste at Unitherm 38104 har en positiv effekt på kablers integritet og levetid under branneksposering. Det viste seg at tykkelsen på malingen hadde direkte innvirkning på resultatet, hvorav flere lag maling ga lengre levetid for kablene. Selv om det ikke ble målt mengden og type røykgasser, så skal brannmalingen under branneksposering begrense avgassene med 80 %, i følge Unitherm. Det er var ønskelig å måle utslipp, men på grunn av manglende utstyr ble ikke dette målt.

Konklusjonen er at Unitherm 38104 gir en tilfredsstillende brannbeskyttelse, der den både har en isolerende effekt på kablene og beskytter mot brannspredning, selv med kun et tynt lag maling.



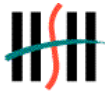
Innhold

Forord	III
Innhold	V
Vedleggsliste	VII
Figurliste	VII
Tabelliste	VII
1. Innledning	1
1.1. Tema	1
1.2. Bakgrunn	1
1.3. Formål	1
1.4. Problemstilling	1
2. Kabler i brannsammenheng	2
2.1. Generelt	2
2.2. Kabelens ulike brannegenskaper	2
2.3. Årsak til kabelbrann	3
2.4. Branntekniske egenskaper for kabler	3
3. Gass og røykutvikling	5
3.1. Generelle problemer	5
3.2. Aktuelle kabelmaterialer	6
3.3. Aktuelle røykgasser	8
3.4. Røykutvikling	9
3.5. Problemer med kabelbranner innen forskjellige områder	11
4. Forskjellige typer slokke- og deteksjonsanlegg	12
4.1. Deteksjonsanlegg	12
4.2. Automatisk brannalarmanlegg	13
4.3. Portabelt utstyr og anlegg	13
4.4. Stasjonære automatiske slokkeanlegg	14
4.5. Inerte gasser	15
4.6. Innledning av kabelbroer	17
4.7. Fordeler og ulemper ved slukkemidler	17
5. Krav i lovverk	18
6. Beskyttelse ved bruk av brannhemmende maling	21
6.1. Forskjellige typer maling på markedet	21
6.2. Bruksområder	21
6.3. Påføringsmetoder	21
6.4. Egenskaper ved brann	21
6.5. Fordeler med bruk av kabel maling	22
6.6. Unitherm 38104	22
7. Transformatorstasjoner	23
7.1. Generelt	23
7.2. Konsekvenser ved brann	23
7.3. Full kraftkrise i California	24
8. Testing av brannhemmende maling på kabler	25
8.1. Generelt	25
8.2. Forsøkene	26
8.3. Resultater	28



INNHOLD

9. Diskusjon	31
9.1. Oppsett og usikkerheter ved forsøk.....	31
9.2. Videre forsøk.....	32
10. Konklusjon	33
11. Referanser	34
12. Vedlegg	32



Vedleggsliste

- Vedlegg 1: Temperatur/tid- kurve med ett- lags maling på 10- og 40 mm kabler
- Vedlegg 2: Temperatur/tid- kurve med ett- lags maling på 20- og 30 mm kabler
- Vedlegg 3: Temperatur/tid- kurve med to- lags maling på 10- og 40 mm kabler
- Vedlegg 4: Temperatur/tid- kurve med to- lags maling på 20- og 30 mm kabler
- Vedlegg 5: Temperatur/tid- kurve med tre- lags maling på 10- og 40 mm kabler
- Vedlegg 6: Temperatur/tid- kurve med tre- lags maling på 20- og 30 mm kabler
- Vedlegg 7: Temperatur/tid- kurve uten maling 10mm/40mm kabler
- Vedlegg 8: Temperatur/tid- kurve uten maling 20mm/30mm kabler
- Vedlegg 9: Forsøksbeskrivelse
- Vedlegg 10: Under forsøk
- Vedlegg 11: Kabel uten brannhemmende maling etter brannekspnering i 15 min
- Vedlegg 12: Tverrsnitt av 40 mm kabel etter eksponering i 15 min
- Vedlegg 13: Testoppsett før forsøket starter
- Vedlegg 14: Kobling av multimeter til ledere for måling av kortslutning
- Vedlegg 15: Kabler med brannhemmende maling etter 15 min brannekspnering
- Vedlegg 16: Beregning av forbrenningsrate

Figurliste

Figur 1: Hulrom over nedforet himling.....	20
Figur 2: 10 mm med 3 kobberledere.	25
Figur 3: 20 mm med 3 kobberleder.	25
Figur 4: 30 mm med 4 aluminiumsledere.	25
Figur 5: 40 mm med 4 aluminiumsledere.	26
Figur 6: Temperatur som kabler og kabelbro ble utsatt for.....	26
Figur7: Bildet viser dataloggeren, Fluke Hydra 2620.....	27
Figur 8: Bildet viser pc-skjerm med loggeprogrammet Labview, Hydralog.	27
Diagram 1: Temperatur i kjernen av kablene.....	28
Diagram 2: Tid før isolasjon mellom ledere smelter og kortslutning oppstår.	29
Diagram 3: Visuell skade	30
Figur 9: Eksempel på 40 mm	30

Tabelliste

Tabell 1 kritiske temperaturer for noen materialer °C.....	7
Tabell 2 Halogener og avgass- produkter for noen materialer.....	9
Tabell 3 - REN§ 7-24 tabell 1A	19
Tabell 4 – REN § 7-24 tabell 1B.....	19



1. Innledning

1.1. Tema

Elektrisitet er en essensiell nødvendighet i vår hverdag der det meste krever strøm for å virke. Uten det blir det fort kaos i vårt samfunn. Derfor er det viktig å sikre en stabil og driftsikker leveranse. Per i dag er Norge så å si selvforsynt med elektrisitet, der det distribueres via et kabelnettverk fra de store vassdragene. Derfra ledes det med høy spenning til transformatorstasjoner som ligger spredt utover landet, der transformatorstasjonens oppgave er å transformere ned strømstyrken til en mer bruksvennlig spenning. Hele prosessen styres og overvåkes fra sentrale overvåkingsentraler som har oversikt over et større geografisk område.

På en transformatorstasjon befinner det seg store mengder med kabler som fører høy strøm i, og som er viktige for hele samfunnet som stasjonen leverer strøm til. I tilfelle brann, er konsekvensene store hvis det blir brudd på kablene som er i drift, og ikke minst med tanke på giftige gasser kabler avgir under oppvarming.

1.2. Bakgrunn

Firesafe kom med et ønske om å teste en type kabelmaling som de skal benytte i fremtiden. De ønsket å vite hvilken effekt malingen har kontra det å bruke ubeskyttede kabler. Det var videre også ønskelig å se hvilke forskjell effekten ville være med tanke på mengde maling på kablene.

1.3. Formål

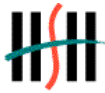
Hensikten med rapporten er å vise til brannsikring av kabler i en transformatorstasjon på best mulig måte med kabelmaling, samt teste og vurdere effekten av én type maling som er ny for Firesafe. Det er tatt hensyn på personsikkerhet under rømning, mulige måter det kan oppstå brudd, og konsekvenser ved brudd.

1.4. Problemstilling

Hvis en brann skulle oppstå i en transformatorstasjon, vil den sterkt ioniserende røykgassen kunne føre til overledning og deretter kortslutte kretsen i transformatorbygget.

Det er flere tiltak som kan forhindre brudd i strømleveransen, der det i denne oppgaven er valgt å fokusere på bruk av brannhemmende kabelmaling som sikringstiltak.

Brannhemmende kabelmaling kan brukes generelt på alle steder hvor det ønskes å skjerme kabler mot brann. I rapporten er det tatt for seg bruk av én type brannhemmende maling, Unitherm 38104.



2. Kabler i brannsammenheng

2.1. Generelt

Bruk av elektriske utstyr vil alltid innebære fare for brann forårsaket av blant annet feil ved komponenter eller feil bruk av utstyr. Hovedvekten av branner og branntilløp har ofte årsak i det elektriske anlegget samt i tilknytning til forbruksapparater. Dominerende brannårsaker i disse delene av det elektriske anlegget er overbelastning, kortslutning, seriefeil etc., med lokal oppvarming og eventuell brann som resultat.

Det er flere grunner til at kabelforlegninger generelt bør vies stor oppmerksomhet i brannrisikosammenheng: Kabelforlegningen gjennomløper vanligvis store deler av bygninger og anlegg, og kan således være hovedårsak til at en brann får spre seg. De elektriske kablene skal sørge for strømforsyning til for eksempel alarm- og kontrollsystem og nødlys, og bør således være intakte også en viss tid etter at brann er oppstått.

Plasten i elektriske kabler utvikler ofte tett røyk under brann, hvilket både lett skaper panikk under evakuering og vanskeliggjør redningsarbeid. Overoppheting og brann i kabler kan forårsake avgassing av både korrosiv og giftig art, avhengig av blant annet kabelmaterialene. Sekundærskadene ved en kabelbrann kan således langt overskride de primære brannskadene alene. I bolighus representerer kabler og ledere en ubetydelig del i forhold til den totale brannbelastningen når en ser bort fra selve sikrings-/ fordelingsselskapene. Det er derfor i større bygg, som kontor, industribygg, hotell etc. at kabler representerer en betydelig brannrisikofaktor. En kabels oppførsel under brann er avhengig av hvilke materialer kabelen er bygget opp av, hvordan kabelen for øvrig er konstruert, forlegningsmåte og ytre forhold ved brannen. Fokusering på selve utførelsen og bruk av brannbeskyttelsestiltak i tilknytning til kabler er derfor et viktig element i den generelle brannsikringen.

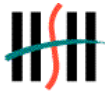
2.2. Kabelens ulike brannegenskaper

For kabler er en stor del (25-50%) av massen brennbare (organiske) materialer. Det vil derfor være av avgjørende betydning ved en eventuell brann hvilke egenskaper som ligger i disse materialene med hensyn til antenlighet, brannspredning og røykutvikling, i tillegg til selve brannbelastningen. De organiske materialene er stort sett hydrokarboner, og kan derfor sammenlignes med olje når det gjelder brannbelastning (brannverdi). En eventuell brann i store kabelføringer vil frigjøre mye energi og kan dermed selv holde en brann i gang, avhengig av blant annet trekkforholdene.

Når de branntekniske egenskapene skal vurderes hos kabler, vil det være naturlig å gruppere disse slik:

- Brennbarhet og brannspredning.
- Røykutvikling, korrosivitet.
- Funksjonsdyktighet.

De ulike kravene til de branntekniske egenskapene som er knyttet til kategoriene ovenfor, vil være mer eller mindre aktuelle avhengig av hva som er mest kritiske med tanke på



brannskader. For eksempel kan det i visse anlegg være nærmest uakseptabelt at en feil i det elektriske anlegget kan forårsake antennelse, som innebærer at det må settes strenge krav til brannmotstand. Andre steder kan røykutvikling være mer kritisk med tanke på en brannsituasjon, slik at bruk av materialer som gir liten røykutvikling er påkrevd. For å sette de riktige branntekniske kravene er det derfor nødvendig å vurdere hvilke kategorier av krav som må oppfylles for de enkelte typer utstyr eller for den virksomheten som utstyret er beregnet for, ut fra konsekvenser av en eventuell brann i virksomheten.

Gjennom nasjonalt og internasjonalt komitéarbeid er det etablert prøvemetoder for å kontrollere de ulike branntekniske egenskapene. Produsenter har dermed en mulighet til å vurdere hvordan brannegenskapene påvirker sin produktutvikling, og produkter fra ulike leverandører kan sammenlignes innenfor de forskjellige kategoriene som nevnt ovenfor. Det er svært viktig å merke seg at det ikke alltid er slik at halogenfrie kabler (som ikke gir korrosive avgasser) gir mindre røykutvikling enn halogenholdige (for eksempel PVC – holdige) kabler. Det er derfor nødvendig at alle ulike krav kan dokumenteres.^[1]

2.3. Årsak til kabelbrann

Kabelbranner kan forekomme på mange forskjellige måter, men man deler dem som oftest inn i to kategorier, ekstern påvirkning og selvantennelse. Med ekstern påvirkning menes for eksempel en brann som begynner et sted i rommet og sprer seg til kabelbroen. For at en kabel skal selvantenne må den selv generere stor varmeutvikling, som regel på grunn av mekanisk skade i selve kablet, eller at den utsettes for større spenning enn den er dimensjonert for. Dette fenomenet kalles ”hot-spot”, da kun deler av kablet får økt varmeutvikling.

Elektriske kabler representerer generelt sett ingen stor primær brannrisikofaktor. Selv om elektriske feil som brannårsak angis for rundt en fjerdedel av branntilfellene i forsikringsselskapenes statistikk i flere vestlige land, kan bare en liten andel føres tilbake til antennelse pga. feil i selve kablet. Problemet er således ikke kabel som brannkilde, men kablets oppførsel under brann forårsaket av andre forhold.

Kablets oppførsel under brann er avhengig av hvilke materialer kablet er bygd opp av, hvordan kablet for øvrig er konstruert, forlengelsesmåte og ytre forhold ved brannen. For å kunne bedømme risikoen for kabelbrann eller spredning av brann i kabler er det derfor ikke tilstrekkelig å kjenne kabelmaterialenes brennbarhet alene, eller for den sakens skyld brannegenskapene til en enkelt kabel. For eksempel kan en enkelt kabel være ute av stand til å spre en brann, mens en bunt av samme type kabler vil gi en voldsom brannutvikling.

2.4. Branntekniske egenskaper for kabler

Syntetiske plastmaterialer blir stadig mer benyttet både som isolasjon - og kappemateriale i moderne kabler. Disse plastmaterialene er høymolekylære organiske forbindelser som inneholder karbonbindinger, og betegnes gjerne som polymerer. Fordelene med disse materialene er generelt at de har gode elektrisk- isolerende egenskaper, lav vekt, rimelige i pris, resistente mot fuktighet, både kjemiske og mekaniske påkjenninger, fleksible og relativt enkle å fremstille. Ulempene rent brannmessig er at slike materialer gjerne er både lett antennelige og lett kan spre brann, samt at de utvikler tett røyk og ofte både korrosive og



giftige gasser når de brenner. For å motvirke disse uheldige egenskapene, utvikler kabelprodusentene stadig nye materialer og materialkombinasjoner, selv om det er vanskelig å kombinere alle kravene som stilles.

Når man ser bort i fra andre egenskaper enn de brannmessige, er det vanlig å stille følgende krav til egenskaper ved en kabel:

- Den bør være lite brennbar (vanskelig å antenne)
- Den bør være selvslukkende (ikke brannspredende)
- Den bør være funksjonsdyktig under brann
- Den bør avgi minst mulig røyk og korrosive/giftige gasser

Når det gjelder begrepene brennbar og selvslukkende er disse i seg selv lite definert. Satt på spissen kan en si at alt brenner bare temperaturen blir høy nok. Disse begrepene må brukes med varsomhet, da de må knyttes til angitte spesifikasjoner, som for eksempel hvilken prøvemethode som er benyttet. Med funksjonsdyktighet under brann forstås evnen til å bevare de elektriske funksjoner kablene normalt er beregnet for både under og eventuelt en viss tid etter brannen. Også her gjelder at begrepet må knyttes til angitte prøvemethoder.

Gass- og røykutvikling er i langt sterkere grad utsatt for subjektive vurderinger enn de foregående når det er snakk om faregrenser. Riktignok finnes definerte prøvemethoder for bestemmelse av røyktetthet, men disse gir ofte lite sammenlignbare resultater. Korrosivitet og giftighet er blant annet avhengig av konsentrasjonsmengde, hvilke klimatiske forhold som gassen befinner seg i, og ikke minst hvilke objekter (evt. personer) som utsettes for gassen. ^[2]

3. Gass og røykutvikling

3.1. Generelle problemer

Når plast og gummimaterialer utsettes for overoppheting vil de kunne avgis gasser som er mer eller mindre korrosive og/eller giftige. Mens de korrosive gassene er knyttet til de halogenholdige isolasjons- og kappematerialene vil giftige gasser kunne avgis fra alle typer materialer. Spesielt når det gjelder giftighet må en være klar over faren for ”å skyte spurven med kanon” når en vurderer kabelmaterialer. Som eksempel på den generelle giftigheten av slike kan nevnes at vanlig trevirke avgir mer karbonmonoksid (CO) enn polymermaterialer ved brann, og ”The National Commission on Fire Preventing and Control” i USA angir denne rekkefølgen på de viktigste dødsårsaker ved brann:

- Kvelning (oksygenmangel)
- Overheting av luft eller gasser
- Røyk
- Giftige produkter
- Flammer

Kvelning representerer altså den høyeste dødsrisiko ved brann, og et annet moment i denne forbindelsen er at CO er luktfri, mens de fleste giftige gasser som avgis fra overoppheting av isolasjon har en spesiell lukt. Det synes videre å være temmelig bred enighet om følgende syn på røykgassers giftighet:

- Det finnes ingen generell prøvemethode for vurdering av giftigheten av avgasser fra polymermaterialer i brann.
- Ved å bryte ned kabelmaterialer av plast og gummi ved hjelp av varme, avgis gasser som i høye nok konsentrasjoner er dødelige for prøvedyr (mus). Det samme skjer nå andre materialer brytes ned på liknende måte.
- Varieres prøvebetingelsene: temperatur, tid, lufttilgang (oksygenmengde) kan en totalt forandre giftighetsrekkefølgen ved dyreforsøk. Det er ikke mulig ut fra kjemisk analyse alene å forutsi giftighet og virkning av materialers avgasser på mennesker og dyr.

Korrosive avgasser er som nevnt knyttet til de halogenholdige kabelmaterialene. Dette kan gi problemer ved valg av brannresistente kabler, idet en ofte tilsetter nettopp halogener for å bedre de branntekniske egenskaper. Det er spesielt klor en tenker på i denne sammenheng, da klorholdige materialer gir forbrenningsproduktet HCl - gass (hydrogenklorid) som reagerer svært lett med fuktighet i luft og danner saltsyre. På denne måten kan sekundære korrosjonsskader ved en brann blir betydelig, spesielt i tilfeller hvor en klarer å begrense selve brannen.

Kabler utvikler generelt betydelige mengder røyk når de brenner, men det kan være stor forskjell i røykutviklingen mellom forskjellige kabelmaterialer. Et problem ved røykmålinger er at det ofte er liten korrelasjon mellom de forskjellige testmetoder, slik at et materiale som kommer dårligst ut i en test kan komme godt ut i en annen. I tillegg til det en noe upresist kan kalle maksimal røyktetthet er det også av stor betydning å vite hvor raskt kabelen begynner å avgis røyk av en viss tetthet og hvor lenge en slik røykutvikling varer.

Generelt gjelder det både for korrosivitet, giftighet og røyk at risikogrenser ikke er knyttet til absoluttverdier for avspaltede produkter, men relativverdier (konsentrasjonsmengder) sterkt avhengig av de ytre omstendigheter/ miljø som kabler er utsatt for. ^[2]

3.2. Aktuelle kabelmaterialer

Kabelprodusenter kan tilby flere kabeltyper til forskjellige formål. Det vil ikke være hensiktsmessig her å komme nærmere inn på de konkrete typer som eksisterer, og heller ikke skille mellom kabler for ulike spenningsnivå og formål. En skal i stedet konsentrere oppmerksomheten om noen av de isolasjons og kappematerialene som kablene kan bygge opp av, for nærmere å kunne studere disse materialenes brannegenskaper. For de fleste materialene gjelder at selve materialbetegnelsen er knyttet til polymeren, mens kabelkvaliteten av materialet gjerne også inneholder fyllstoffer, mykner og eventuelt andre tilsatser. De beskrivelsene som foretas må derfor kun betraktes som veiledende idet en tar utgangspunkt i hva en noe upresist kan kalle vanlig kabelkvalitet.

Isolasjonsmateriale skal primært tilfredsstille de elektriske krav som stilles til det. Normalt bruk i dag er først og fremst:

PVC	- Polyvinylchloride
PE	- Polyethylene
XLPE (PEX)	- Crosslinked polyethlene
EPR(EPM/EPDM)	- Ethylene propylene rubber

EPR er en kopolymer av vanligvis 60- 70 % etylen, 30- 40 % propylen (EPM) og gjerne en mindre mengde av en tredje monomer, for eksempel heksadien (EPDM).

Ytre kappe skal oppfylle krav vedrørende mekaniske egenskaper og bestandighet mot vær, olje, vann og kjemikalier. De mest benyttede kappematerialer for moderne kabler er:

PVC	-polyvinylchloride
PCP (Neonprene, CR)	-plychloroprene
CSP (hypalon, CSM)	-chlorosulfonated polyethylene
PTFE (Teflon, TEFZEL)	-polytetrafluorethylene.

Før en kommer nærmere inn på den røyk- og gassutviklingen disse materialene kan gi i overopphetet tilstand, skal kort nevnes noen generelle måter å bedre materialenes brannegenskaper på. Ved å tilsette plastmaterialer til visse stoffer kan en for eksempel gjøre såkalte ikke selvslukkende materialer (som PE, PEX) selvslukkende, eller såkalte selvslukkende materialer (som PVS, PCP, CSP) enda mer motstandsdyktig mot brann.

Av slike benyttede tilsatstoffer i kabelmaterialene kan nevnes følgende:

- Tilsats av uorganiske stoffer som antimontrioksid eller ammoniumbromid.
- Tilsats av organiske, halogenholdige stoffer som for eksempel klorerte hydrokarboner eller forforholdige stoffer.
- Bruk av kombinasjonen av tilsatstoffer som gir gunstige samvirkende (synergistiske) effekter. Et kjent eksempel er å bruke antimontrioksid sammen med stoffer som inneholder halogen eller fosforhalogenforbindelser eller nitrogenforbindelser. Ofte brukes fyllstoff som aluminium sammen med disse stoffer.

Tilsatsstoffene virker brannhemmende ved at de fortytter de flyktige brennbare materialene som dannes ved brann. De reagerer også med de frie radikale som dannes, og forstyrrer således forbrenningsreaksjonen. I tillegg forårsaker tilsatsstoffene at det dannes mer aske, den underliggende plasten beskyttes derved for direkte å bli utsatt for flammene, eller kort sagt, brennbarheten nedsettes.

Som eksempel på et av de mest benyttede tilsatsstoffer kan nevnes aluminium trihydrat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Varmeutviklingen ved en forbrenning er et alvorlig problem, og det er ønskelig med tilsatsstoffer som kan absorbere varmen. Aluminium trihydrat dekomponerer endotermisk (kjemisk reaksjon som forbruker varme) ved 220- 280 °C ved at vannmolekylene frigjøres som vann. Ved at dette vannet fordampes absorberes enda mer varme. Polyetylen har flere fordelaktige egenskaper ved bruk i elektrisk kabel, men den brenner lett, og dette nødvendiggjør bruk av store mengder tilsatsstoffer for å gjøre plasten selvslukkende. Dette resulterer i sin tur i at de fysiske egenskapene kan bli merkbart dårligere. Ved å gjøre bruk av aluminium trihydrat i tværbundet polyetylen kan en imidlertid få en akseptabel balanse mellom selvslukkende evne og fysiske og elektriske egenskaper.

Av stor betydning når det gjelder undersøkelser av materialers oppførsel under overoppheting er selvsagt de temperaturer ved hvilke materialet gjennomgår kritiske forandringer. Som eksempel skal det her vise noen verdier for tre typiske kabelmaterialer tilhørende henholdsvis gruppe ”brennbar” (PE), ”selvslukkende” (PVC) og ”ekstra hurtige selvslukkende” (teflon). I tabellen er ikke smeltetemperatur for PVC angitt idet PVC er en amorf termoplast hvor overgangen fra fast til flytende tilstand går gradvis, i motsetning til krystallinske termoplaster som PE og PTFE. Temperaturene er referert til vanlige atmosfæreluft med oksygeninnhold ca. 21 %.^[2]

Materiale	Smeltetemperatur T_m	Spaltingstemperatur T_d	Tenntemp. selvantennelse	Tenntemp. Med ild
PE	110-130	330-440	350	340
PVC	-	200-300	450	390
PTFE (teflon kabel)	330	500-550	580	560

Tabell 1: kritiske temperaturer for noen materialer °C.



3.3. Aktuelle røykgasser

Mens alle gasser kan være giftige bare konsentrasjoner og mengder er tilstrekkelige, er som tidligere nevnt de korrosive gassene knyttet til spaltingsproduksjon fra halogenholdige materialer. Av aktuelle polymerer som benyttes i kabelproduksjonen er PVC, PCP (Neopren) og CEP (Hypakon) halogenholdige materialer som alle vil avgis HCl ved forbrenning. PCP og CSP avgir også svoveldioksid SO₂. HCl og SO₂ er både korrosive og giftige, men har den ”fordelen” at de merkes lett selv i små konsentrasjoner (i motsetning til CO).

For oversiktens skyld skal her kort og svært ufullstendig gis en oversikt over noen avgassprodukter fra brennende kabelmaterialer, hvor det kun er lagt vekt på å antyde hvilke korrosive og/eller giftige gasser som kan opptre. Prosenttall er kun veiledende.

PVC inneholder som ren polymer ca. 38 % karbon (C), 5 % Hydrogen (H) og 57 % Klor (Cl). Med fyllstoffer etc. reduseres imidlertid klorinnholdet, og typiske prosenttall for kabelmassen er 25 – 35. Allerede ved 100 °C vil saltsyregass kunne avgis fra ren PVC, men forskjellige tilsetningsstoffer gjør at PVC isolasjon må høyere opp i temperatur før HCl avgis. Mengden avgitt HCl øker med økende temperatur. I tillegg avgis PVC Karbonmonoksid (CO) og Karbondioksid (CO₂) ved henholdsvis ufullstendig og fullstendig forbrenning.

PE (polyetylen) består av ca. 86 % karbon og 14 % hydrogen. Også polyetylen utvikler CO og CO₂ ved overoppheting eller brann, men dette materialet er halogenfritt.

EPR - gummi inneholder heller ikke halogener, det vil si avgir ikke korrosive gasser, men avgir som alle andre organiske materialer CO og CO₂ ved henholdsvis ufullstendig og fullstendig forbrenning.

PCP (Neopren) er halogenholdig, og inneholder ca. 40 % klor i polymeren og 18 % klor i kabelmassen. Foruten CO og CO₂ vil overopphettet neopren avgis HCl- og SO₂ gass.

CSP (Hypalon) avgir tilnærmet de samme gasser som neopren under overoppheting, altså CO og CO₂, HCl og SO₂. Hypalon inneholder ca 15 % klor i polymeren og 11 % klor i kabelmassen.

PTFE (Teflon, Tefzel) er fluorplaster og meget motstandsdyktige mot brann. Når imidlertid temperaturen først blir høy nok begynner avgassing av først og fremst CO, karbonylfluorid som i nærvær av fuktighet raskt hydrolyserer til HF (fluss – syre) og CO₂, og karbontetrafluorid. Teflon inneholder ca. 24 % karbon og ca 76 % fluor (F).

I tabell 2 er det ført opp det viktigste halogen de mest aktuelle halogenholdige kabelmaterialene inneholder, samt en angivelse av korrosive/ giftige avgasser.

Materialer	Halogen	Gassutvikling				
		CO	CO ₂	HCl	SO ₂	HF
PVC	Cl	X	X	X	-	-
PEX Flammeresistent	Cl /Br	X	X	(X)	-	-
EPR Flammeresistent	Cl /Br	X	X	(X)	-	-
PcP Neopern	C	X	X	X	X	-
CSP Hypalon	C	X	X	X	-	-
PTFE Telefon kabel	F	X	X	-	-	X
PTFE Telzel	F	X	X	-	-	X

Tabell 2: Halogener og avgass- produkter for noen materialer.

For de ikke- halogenholdige materialene gjelder selvsagt at når de benyttes som kabelmaterialer ofte tilsettes halogener for å bedre brannegenskapene. Dette må en være klar over idet kabelmassen gjerne beholder samme betegnelse som (den eventuelle halogenfrie) hovedpolymeren. ^[2]

3.4. Røykutvikling

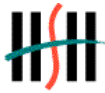
Røykutviklingen spiller en viktig rolle under en brannsituasjon, idet tett røyk som tidligere nevnt kan skape panikk, ødelegge sikten ved evakuering og vanskeliggjøre rednings- og slukkearbeid. Plastkabler utvikler generelt betydelig mengder røyk når de brenner, og det kan derfor være på sin plass å se litt nærmere på hva denne røyken består av.

Pr. definisjon er røyk sammensatt av gassformige og faste stoffer. De gassformige stoffene er vanligvis hovedsakelig en blanding av karbondioksid CO₂ og hydrogen H, men det kan også forekomme uforbrente stoffer som karbonmonoksid (kulløs) CO og hydrokarboner, samt andre forbindelser som hydrogenklorid (saltsyre) HCl og hydrogencyanid (blåsyre) HCN. Nitrogenoksider (NO₂) kan deles foreligge som reaksjonsprodukter fra forbrenningen, men kan ved høye temperaturer også dannes ved sekundære reaksjoner mellom komponenter i luften.

De faste stoffene i røyken er partikler av aske og sot. Aske er da hovedsakelig faste oksider og uforbrente og ikke brennbare bestanddeler av materialet. Sot er hovedsakelig karbon C. Disse stoffer kan foreligge i meget finfordelt form og rives av de utviklede branngasser. (Ved høye temperaturer vil også faste oksider kunne gå over i gassfase.)

Fargen på røyklaget og røyktettheten vil avhenge av fargen på komponentene.

Er røyken kald, kan en få tåkedannelser ved utkondensering av mindre flyktige komponenter, som for eksempel vann. (Os, som fremkommer ved overoppheting og spalting av fett, for eksempel ved steking, må også karakteriseres som tåke). Slike utkondenseringsprosesser vil kunne fremskyndes av finfordelte, avkjølte partikler, idet disse virker som kondensasjonskjerner.



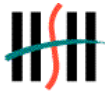
Røyk vil ikke kunne oppstå ved fullstendig forbrenning av for eksempel rene hydrokarboner, og karbon-, hydrogen- og oksygen- forbindelser (eks. propanflamme, spritflamme), men ved underskudd på oksygen vil en kunne få røykdannelse på grunn av soting. Det er denne tildels kraftige sotdannelsen, som ofte, i likhet med bensinbranner, bidrar til den relativt store røykmengden som dannes ved plastbranner. Sotdannelsen vil favoriseres av et intenst brannforløp, men kan også være en følge av at det i materialet inngår komponenter med sterkt forkullende egenskaper, som klor-, karbon- og hydrogenforbindelser.

Ved forbrenning av enkle hydrokarbonforbindelser er det naturligvis enkelt å bestemme og tildels også å forutsi forbrenningsproduktene. Dette vil til en viss grad også gjelde ved ufullstendig forbrenning av slike materialer. Men ved ufullstendig forbrenning og ved dekomponering av kompliserte forbindelser og blandinger av slike, som mange plaststoffer, kan det være meget vanskelig å bestemme komponentene i branngass og røyk. Selv der hvor forbrenningen foregår under kontrollerbare forhold. Under en aktuell brann vil det være umulig å anslå alle komponentene som inngår i røyken.

Evnen til å danne røyk hos et materiale er som en skjønner betinget av en rekke faktorer som kan være vanskelig å kontrolleres. Å bestemme røykdannelsevnen hos et materiale er således en komplisert sak. Anvendte metoder går ofte prinsipielt ut på å forbrenne materialer under definerte betingelser og lede røykgassen forbi en belyst fotocelle og måle lysabsorpsjonen, og verdiene framfremstilles grafisk som funksjon av tiden. Ved integrering av den fremstilte kurve kan en få et mål for den totale røykdannelse ved forbrenningen. Eksempel på en slik testmetode som altså bygger på den optiske tetthet av røyken, er NBS – Smoke Density Chamber.

Andre metoder går ut på å finne et mål for røykmengden ved absorpsjon av faste partikler i røyken i et filter, og så bestemme mengden av disse partiklene ved veiing, eller mer kvalitativt: ved visuell vurdering av svertingsgraden ved sammenlikning med en kalibrert gråskala. Eksempel på en slik testmetode som bygger på partikkelmengden er arapahoe Smoke Chamber.

Dessverre er det ofte liten korrelasjon mellom de forskjellige testmetodene, og når det gjelder kabler blir problemet gjerne forsterket ved at en tester enkeltmaterialer (som ytre kappe) mens en i en brann vil ha røykutvikling fra et sammensatt produkt. ^[2]



3.5. Problemer med kabelbranner innen forskjellige områder

3.5.1. Rømningsveier

Når en kabel basert på PVC- plast brenner, avgir den enorme mengder avgasser. Det er snakk om omtrent 5 m³ per kilo PVC. Dette er røykgasser i form av CO₂, HCl, CO og sotpartikler. Alle disse gassene er ugunstige for mennesker når det gjelder rømning. For det første er røyken så tett at sikten blir nærmest å betrakte som lik null, og i tillegg er HCl og CO giftig for mennesker, selv i små mengder.

3.5.2. Datarom

Det er normalt sett store verdier knyttet til datarom. Ikke kun økonomiske verdier, men også viktig og uerstattelig data som er lagret. Et data- eller serverrom krever store mengder strøm. Hvis det skulle oppstå en brann i eller i nærheten av et slikt rom, vil man kunne få røykspredning til dette rommet. Det er spesielt HCl-gassen som er ugunstig, med tanke på at den er svært korrosiv og ødelegger elektriske komponenter



4. Forskjellige typer slokke- og deteksjonsanlegg

4.1. Deteksjonsanlegg

Når en brann er i startfasen eller er brutt ut er det viktig å oppdage brannen raskest mulig, og angripe brannen med best egnet slukkeutstyr. Ved brannteknisk vurdering av kabelanlegg må en derfor tenke nøye over hvilke steder som har høyest brannrisiko, og hvor i anlegget en brann kan gjøre størst skade. Det er derfor av stor betydning at det anlegget som finnes har et godt planlagt system av branndeteksjons- og slukkeutstyr. Eier av bygg og anlegg skal sørge for at brannobjektet er bygget, ustyrt og vedlikeholdt i samsvar med gjeldene lover og forskrifter om forebygging av brann og utforme et deteksjons- og slukkeanlegg som er tilfredsstillende. For alle andre bygg og anlegg, der deteksjons- og slukkeanlegg gir rabatt i forsikringen, forplikter man å utforme anlegget i henhold til regelverket fra Forsikringssekskapenes Godkjenningnemd.^[3]

4.1.1. Ulike typer branndetektorer

Det finnes flere ulike typer branndetektorer på markedet som fungerer etter ulike prinsipper. De forskjellige typene er flamme-, røyk- eller varmeregistrering. Detektorene jobber på så forskjellige brannkarakteristika og fysikalske størrelser at forutsetning for anvendelse må være nøye vurdert. I kabelanlegg er det røykdetektorer som er det vanligste.

- Flammedetektorer

Av flammedetektorer er det to hovedtyper, som begge er basert på deteksjon av utstrålt lys (med frekvens høyere enn i synlig område) fra en flamme. Den ene typen opererer i det infrarøde området, og den andre i det ultrafiolette området. Infrarød detektor gis ofte et begrenset siktområde for å unngå feilalarm, mens det for UV- detektorer er få kilder for eventuell feilalarm.

- Røykdetektorer

Innen røykdetektorer er det tre hovedtyper. Her er det ionisasjonsrøykdetektoren, som er basert på binding av røykpartikler i et ioniserende kammer. Optisk røykdetektor, basert på fotoelektrisk prinsipp, ved at innkommende lysmengde mot en optisk sensor påvirkes av røykpartikler. Linjedetektor, også basert på fotoelektrisk prinsipp, hvor en UV- eller laserstråle mot en optisk sensor påvirkes av røyk.^[4]

- Optisk røykdetektor

Den optiske røykdetektoren er mer stabil i høy vindhastighet og mindre følsom for forandringer i temperatur og luftfuktighet enn ionisasjonsrøykdetektoren. Begge typer er velegnet for deteksjon av brann i kabler. I branner hvor det utvikles lite synlig røyk synes ionisasjonstypen å være den beste av disse.



4.2. Automatisk brannalarmanlegg

Det bør være brannalarmanlegg i alle kraftforsyningsanlegg. Automatisk brannalarmanlegg skal installeres i alle rom i den delen av bygget hvor driftssentralen med tilbehør er installert. Denne skal også varsle eventuell hjemmevakt.

Konsekvensreducerende tiltak kan være:

- Å montere brannalarmanlegg som varsler både personellet som befinner seg på stasjonen og vakt- personellet på driftssentralen, samt eventuelt direkte til brannvesen.
- Å kople brannalarmanlegget mot røyk og brannspjeld samt dører/ luker slik at spredning av røyk og brann unngås.

4.3. Portabelt utstyr og anlegg

4.3.1. Vann som slokkemiddel

Vann er det mest brukte slokkemiddelet. Årsaken til dette er at vann er rimelig, finnes i store mengder, er miljøvennlig og har gode slokketekniske egenskaper. Vann slukker ved kjøling av flammesonen og det brennbare materialets overflate, samt at det begrenser tilgangen til oksygen. Vann leder strøm godt, og bør da ikke brukes i transformatorstasjoner i nærheten av koplingsanlegg. I så fall kan dette føre til kortslutning, og gi sekundærskader som er større i omfang enn det i utgangspunktet var. Det er derfor viktig at vann kun blir brukt på steder på stasjonen hvor det er sikkert at dette problemet ikke vil oppstå, slik som oppholdsrom, lagringsrom, rømningsvei, etc.

4.3.2. Manuelt slukkeutstyr

Det skal utplasseres hensiktsmessig og tilstrekkelig manuelt slukkeutstyr som skal kunne brukes i alle rom i anlegget. Med manuelt slukkeutstyr menes alt slukkeutstyr som betjenes av personell, dvs. brannslanger og transportable slukkeapparater av ulik utforming og for ulike bruksområder. Utstyret må være avpasset etter den brann som ventes å oppstå.

- Brannslanger

Der det er mulighet for tilgang på slokkevann, bør det installeres anlegg for montering av brannslanger. Brannslangen bør fortrinnsvis være på trommel med senterføring av vannet, slik at bare nødvendig del av slangelengden rulles ut i det enkelte brukstilfellet. Det bør brukes kuleventil, og kranene bør prøves jevnlig for å sikre at de ikke har satt seg fast.

- Håndslukkere

Der brannslukkere ikke er hensiktsmessige må det benyttes transportable slukkeapparater, vanligvis håndslukkere av forskjellige typer. I henhold til gjeldende bestemmelser må håndslukkere være godkjent/ sertifisert som type før de kan selges og anvendes i Norge. Godkjenningsinstans er endret opp gjennom årene, og det finnes derfor apparater med forskjellig godkjenningsnumre. Nytt regelverk gjelder kun når nye håndslukkere skal omsettes. Tidligere omsatte håndslukkere som befinner seg i markedet, og som var godkjent på omsetningspunktet, kan fortsatt benyttes så lenge det ved regelmessig kvalifisert vedlikehold kan dokumenteres at apparatene er funksjonspålitelige. ^[5]

4.4. Stasjonære automatiske slokkeanlegg

Det skal installeres egnet stasjonært slokkeanlegg der dette er nødvendig for å hindre tap av store materielle verdier, jf FOBTOT § 4-2). Det finnes flere typer automatiske slokkeanlegg. Hvilken type som bør velges vil være avhengig av hvor det skal benyttes, og hvilken type brann som kan forventes. Før man eventuelt bestemmer seg for å installere et automatisk slokkeanlegg må man derfor gjøre en risiko- og sårbarhetsanalyse hvor alle relevante forhold tas inn, bl.a.:

- Sannsynlighet for brann
- Sannsynlighet for eksplosjon
- Brannbelastning, størrelse og type, innkapslet eller ikke
- Hvilket slokkemiddel egner seg best (vann, skum, gass, pulver, aerosoler)
- Konsekvenser hvis brann eller eksplosjon ikke blir automatisk slokket
- Areal/ volum som skal benyttes
- Skille mellom beskyttet og ubeskyttet område
- Hvor raskt anlegget må løses ut
- Personsikkerheten ved opphold i slokkesonen
- Behov for forvarsel i form av alarm, før anlegget løser ut

4.4.1. Sprinkleranlegg

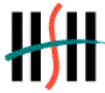
Viktige seksjoner av kabelanlegg bør beskyttes med faste slukkeanlegg, og her har sprinklersystem vist seg velegnet med blant annet høy pålitelighet, lang levetid, ved siden av å være svært effektivt som brannbekjempende middel. Med stor mengde kabler på flere kabelbroer over hverandre kan det være behov for nivåsprinkler mellom broer. Men det må nevnes at det ikke bør brukes sprinkleranlegg hvor det befinner seg koplingsenheter, da vann leder strøm meget godt. Av de stasjonære slokkeanleggene er det sprinkleranlegg av forskjellig art^[4].

- Standard våtrørsanlegg

Her er hele rørsystemet er vannfylt og står under trykk. Anlegget utløses ved at de lukkede sprinklerhodene påvirkes av brannen. Hodene fås med forskjellige utløsningstemperaturer, og det er bare hoder som oppnår tilstrekkelig høy temperatur som løser ut. (benyttes ikke der det er fare for frost.)

- Standard tørrørsanlegg

I dette systemet vil det si at rørsystemet over ventilen er fylt med trykkluft. Når et hode løser ut, vil luften unnsnippe og ventilen slipper vann på anlegget som deretter fungerer som et våtrørsanlegg. (benyttes der det er fare for frost.)



- Preactionanlegg

Hvor rørsystemet står tørt men fylles med vann etter utløst brannalarm i eller nær området hvor slokkeanlegget er montert. Vil deretter fungere som et vanlig våtrørsanlegg. (benyttes primært der lekkasje kan medføre stor skade på utstyr.)

- Delugeanlegg

Rørsystemet står tørt og med åpne sprinklerhoder. Vannet slippes på systemet ved utløst alarm, og gir vann over hele anleggets dekningsområde samtidig. (benyttes der det er fare for meget hurtig brannspredning.)

4.4.2. Vanntåkeanlegg

Vanntåke har en bred ramme. Og kan defineres som en fin spray av vann for effektiv kontroll, eller slokking av branner med begrenset bruk av vann, hvor volumetrisk 90 % middeldråpediameter er mindre enn 1mm (1000µm). Volumetrisk 90 % vil si en diameter som deler vanninnholdet i en tåke slik at 10 % er større og 90 % er mindre enn denne diameteren.

En kan dele vanntåke inn i tre klasser etter dråpestørrelser:

$D_{V 0,9}$ = Volumetrisk 90 % middeldråpediameter

Klasse 1: Svært fine vanntåkedråper $D_{V 0,9} < 200\mu\text{m}$

Klasse 2: Middels fine vanntåkedråper $D_{V 0,9} < 400\mu\text{m}$

Klasse 3: De groveste vanntåkedråpene $D_{V 0,9} > 400\mu\text{m}$, men som alltid er mindre enn 1000µm

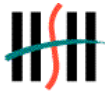
Tilfredsstillende designede vanntåkesystemer kan være effektive i både flytende brensel og fast stoff. Forskning indikerer at dråper mindre enn 400 µm er essensielt for slukking av branner med flytende brensel, mens større dråper er effektive for branner i faste materialer.

De små dråpene gjør at den totale vannflaten som eksponeres mot brann blir svært stor. Dette fører til at vannet vil komme lettere i kontakt med flammer, varme gasser og overflater. Den store kontakten medfører at vanndråpene oppvarmes og fordampes lettere. Vanntåkeanlegg kan slukke en brann med langt mindre vannforbruk en for eksempel sprinkler. ^[6]

I en transformatorstasjon bør vanntåkeanlegg ikke brukes hvor det er fare for at koplingsenheter eksponeres for vann. Det vil si at det kun bør brukes i lagerrom/ kabelrom, oppholdsrom, rømningsveier etc.

4.5. Inerte gasser

På en transformatorstasjon fungerer gasser veldig godt som slukningsmiddel. Gassene introduseres raskt rundt i rommet og fordeler seg hurtig inn under eventuelle deksler og elektriske komponenter. Gassene er ikke elektrisk ledende, og gir ingen korrosjonsskade, og fungerer slik at de slukker brannen ved oksygenfortregning. Det vil si at den fortrenger luften som allerede er til stede, og dette fører til at oksygennivået blir lavere enn 10-12 %, som er under brennbarhetsgrensen. Brannen som trenger oksygen vil da kveles.



Inerte slukkemidler reagerer ikke med andre materialer eller stoffer, og tar heller ikke del i forbrenningsprosessen. Dette er også grunnen til at disse gassene ikke produserer miljøskadelige og giftige dekomponeringsprodukter. Under vurderes tre inertgasser:

- Karbondioksid

Karbondioksid (CO₂) er en av de mest brukte gassene i automatske slokkeanlegg. Siden gassen har et kokepunkt på -78 °C ved atmosfærisk trykk, krever den mye energi fra brannrommet når den fordampes. For branner i elektriske anlegg kreves det romfylling på 50 % for å oppnå slokking, noe som medfører at CO₂ konsentrasjonen vil synke til 10,5 %. Det er da farlig å oppholde seg i dette rommet, da en konsentrasjon på 9 % eller høyere er nok til å kvele mennesker. CO₂ er vanskelig å oppdage siden den er uten farge og lukt, noe en kan tilsette for å forhindre ulykker, ved for eksempel lekkasje. ^[7]

- Inergen

Inergen består av 52 % Nitrogen, 40 % Argon og 8 % Karbondioksid. Av dette fremgår at Inergen er sammensatt av gasser som forekommer naturlig i luften (karbondioksidinnholdet i luften er normalt 0,04 %). For å få en tilfredsstillende slukkeeffekt kreves det en fyllingsgrad i rommet på 50 %.

Inergen leveres hovedsakelig på flasker med volum på 50 liter og trykk på 200 bar. Anlegget dimensjoneres slik at det ved utløsning gir en 47 - 51 % konsentrasjon av Inergen i det rommet som skal beskyttes. Egenvekt av Inergen er omtrent samme som luft, og blander seg helt med luften. Gassen er luktfri og usynlig.

Inergen oppbevares på trykkflasker i gassform og har derfor ingen kjølede effekt på omgivelsene. Trykkflaskene kan plasseres i brannrommet. ^[8]

- Argonite

Argonite er et slukkemiddel i gassform med en kvelende slukkevirkning. Gassen består av 50 % Nitrogen og 50 % Argon. For en tilfredsstillende slukkeeffekt kreves det en fyllingsgrad i rommet på 50 %.

Ved utløsning reduseres oksygeninnholdet i rommet til 12,5 % +/-0,5 %. Dette er et oksygenivå hvor branner i de fleste stoffer slukker, men som kan utholdes av mennesker i en kortere periode. Mannskap uten åndedrettsvern skal forlate området straks.

Utløsning kan skje automatisk eller manuelt. Den automatiske utløsningen skjer ved hjelp av detektor tilpasset brannobjektet og ved utløsning kan melding gis til brannvesen eller annen instans. ^[9]



4.6. Innkledning av kabelbroer

Innkledning av kabler og kabelbroer kan utføres på flere forskjellige måter, for eksempel med plater og isolerende matter. Disse metodene brukes også for beskyttelse av stålkonstruksjoner mot brannpåkjenninger. Et problem med bruken av isolerende matter er den indre temperaturen ved kablene. Temperaturen innenfor isolasjonen kan gjøre at kablene smelter og/eller får andre skader som gjør at de slutter å fungere.

Det er stadig nye materialer som kommer på markedet og som gir forbedret brannsikkerhet. Mattene kan både ruller rundt kablene, eller monteres utenpå kabel broen. Problemer som denne type løsning kan medføre er for det første plass til konstruksjonen. Det er sjeldent god plass rundt kabelbroen, og er derfor vanskelig å få plass til denne type konstruksjon. Ett annet problem er at det blir mye arbeid, når eller hvis, det skal legges inn nye kabler eller kontrollere de gamle.

Det blir ofte brukt gips som materiale til kabelbroer. Dette materialet har den uheldige egenskapen at det er svært sprøtt og tåler dermed ikke så mye bevegelse før den går i stykker. Gipsen inneholder vann som fordampes under brann, og må derfor etter brannen byttes ut. Det er også nødvendig å tenke på vekten av denne konstruksjonen fordi kabelbroer ofte er montert med lange spenn og enkle fester.

4.7. Fordeler og ulemper ved slukkemidler

Vann er et effektivt kjøle- og rimelig slukkemiddel, men det er begrenset hvor det kan brukes inne på en trafo- stasjon. Dette er fordi vann leder strøm godt, og ikke bare kan forårsake store sekundærskader, men kan også skade innsatspersonell og egne ansatte. Lite vann fordampes og det gir store vannskader. Vann er en polar væske det vil si den blander seg ikke med f.eks. fett og oljeprodukter. På grunn av tettheten til vann vil olje og fett flyte oppå vannet og spres utover. Ved høy temperatur i brennbar væske vil vannet fordampe nede i væsken, og brennbar væske slynges utover på grunn av volumutvidelsen til vannet. (1:1700 v/ 100°C). Ved brann i metaller blir det meget høy temperatur. Ved temperatur over 1000°C spaltes vann og det dannes hydrogen og oksygen (knallgass).

Inert gass er mye brukt i elektriske anlegg, og har en rask utløsning fra deteksjon til reaksjon. Dette slukningsmiddelet er meget effektivt mot elektriske branner, og er velegnet på en transformatorstasjon. Gassene er naturlige i atmosfæren, og utgjør ikke en trussel mot miljøet. Ulempen ved gass er at det tar relativt stor plass med gassbeholdere, og i en transformatorstasjon er dette begrenset. De forskjellige gasser kan være skadelige for mennesker i visse konsentrasjoner.



5. Krav i lovverk

Brannsikring av bygninger er regulert etter lover og forskrifter, der et av underkapitlene handler om brennbare overflater. Kabler går under begrepet overflater i et bygg og er dermed direkte berørt av dette regelverket.

Under følger et utdrag som omhandler kabler og brannmotstand fra Teknisk Forskrift (TEK), som er et regelverk for bygg under konstruksjon eller endring. Det er og et utdrag fra REN, en veiledning til TEK, som er en samling med preaksepterte løsninger som oppfyller kravene i TEK.

Teknisk Forskrift (TEK § 7-24). *Antennelse, utvikling og spredning av brann og røyk*

1. Generelle krav

Byggverk skal bygges og utstyres slik at sannsynligheten for at brann skal oppstå reduseres til et akseptabelt nivå, og slik at faren for spredning av brann og røyk kan reduseres tilsvarende. Det skal tas hensyn til byggverkets bruk og nødvendig tid for rømning og redning.

2. Antennelse og utvikling av brann

Det skal velges materialer og overflater som ikke gir uakseptable bidrag til brannutviklingen. Det legges vekt på tid til overtenning, varmeavgivelse, røykproduksjon og utvikling av giftige gasser.

4. Tekniske installasjoner

Tekniske installasjoner skal utføres eller utstyres slik at installasjonen ikke vesentlig øker faren for at brann oppstår eller at brann sprer seg. Installasjoner som er forutsatt å ha en funksjon under brann, skal være slik utformet og bygget at deres funksjon opprettholdes i nødvendig tid.

Veiledning til Teknisk Forskrift (REN) § 7-24

Antennelse, utvikling og spredning av brann og røyk

2. Antennelse og utvikling av brann

Overflate og kledninger

Foruten å bidra til brannmotstand i en konstruksjon, må det ytterste sjiktet på en bygningsdel og overflaten på dette ha gode branntekniske egenskaper, som gir akseptabelt vern mot antennelse, varmeavgivelse og røykutvikling. Det ytterste sjiktet på en bygningsdel og overflaten på dette antas å ha tilfredsstillende egenskaper mht. antennelse, brann og røykspredning når det benyttes materialer med branntekniske egenskaper som angitt i § 7-24 tabell 1A og 1B.



Overflater og kledninger	Brannklasse		
	1	2	3
Overflater i brannceller som ikke er rømningsvei			
Overflater på vegger og tak i branncelle inntil 200 m ²	D-s2,d0 [ln2]	D-s2,d0 [ln2]	D-s2,d0 [ln2]
Overflater på vegger og tak i branncelle over 200 m ²	D-s2,d0 [ln2]	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]
Overflater i sjakter og hullrom	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]
Overflater i brannceller som er rømningsvei			
Overflater på vegger og tak	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]
Overflater på gulv	D ₁ -s1 [G]	D ₁ -s1 [G]	D ₁ -s1 [G]
Utvendige overflater			
Overflater på ytterkledning	D-s3,d0 [Ut2]	B-s3,d0 [Ut1]	B-s3,d0 [Ut1]
Kledninger			
Kledninger i brannceller inntil 200 m ² som ikke er rømningsvei	K10/D-s2,d0 [K2]	K10/D-s2,d0 [K2]	K10/D-s2,d0 [K2]
Kledninger i brannceller over 200 m ² som ikke er rømningsvei	K10/D-s2,d0 [K2]	K10/D-s2,d0 [K2]	K10/B-s1,d0 [K1]
Kledning i branncelle som er rømningsvei	K10/B-s1,d0 [K1]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]
Kledning i sjakter og hullrom	K10/B-s1,d0 [K1]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]

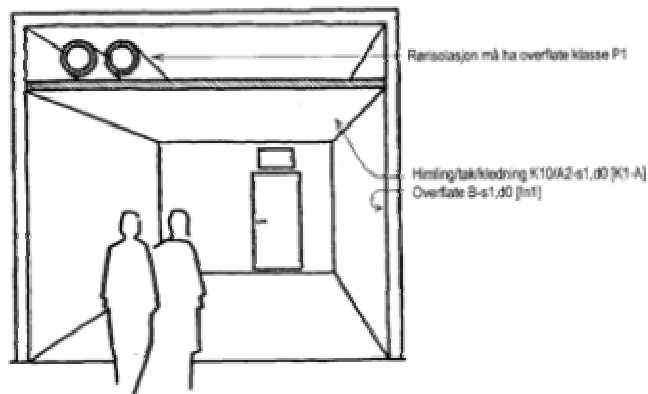
Tabell 3: REN § 7-24 tabell 1A Ytelser til overflater og kledninger for risikoklasse 1-5.

Overflater og kledninger	Brannklasse		
	1	2	3
Overflater i brannceller som ikke er rømningsvei			
Overflater på vegger og tak i branncelle	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]
Overflater på gulv	D ₁ -s1 [G]	D ₁ -s1 [G]	D ₁ -s1 [G]
Overflater i brannceller som er rømningsvei			
Overflater på vegger og tak	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]	B-s1,d0 [ln1]
Overflater på gulv	D ₁ -s1 [G]	D ₁ -s1 [G]	D ₁ -s1 [G]
Utvendige overflater			
Overflater på ytterkledning	D-s3,d0 [Ut2]	B-s3,d0 [Ut1]	B-s3,d0 [Ut1]
Kledninger			
Kledninger i brannceller	K10/B-s1,d0 [K1]	K10/B-s1,d0 [K1]	K10/B-s1,d0 [K1]
Kledning i branncelle som er rømningsvei	K10/A2-s1,d0 [K1-A]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]
Kledning i sjakter og hullrom	K10/A2-s1,d0 [K1-A]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]	K10/A2-s1,d0 [K1-A]

Tabell 4: REN § 7-24 tabell 1B Ytelser til overflater og kledninger for risikoklasse 6.

Nedforet himling

Nedforet himling i rømningsvei må ikke bidra til økt fare for brannspredning. Dette kan ivaretas ved at overflater og kledninger i hulrom over nedforet himling har minst like gode branntekniske egenskaper som overflatene og kledningene i rømningsveien. Vanskelig tilgjengelige hulrom bak nedforet himling bør beskyttes med kledning som tilfredsstillende K10/A2-s1,d0 [K1-A].



Figur 1: Hulrom over nedforet himling der kabelbroene kan være plassert.

Rør- og kanalisolasjon

Rør- og kanalisolasjon kan bidra til rask brannspredning og produksjon av store mengder røyk. For å sikre forholdene i rømningsvei må derfor isolasjon på rør og kanaler som legges i rømningsvei ha klasse P I. Isolasjon på enkeltstående små rør og kanaler, samt isolasjon på rør og kanaler som er lagt i sjakt eller bak nedforet himling med branncellebegrensende funksjon, kan likevel ha klasse P II.

Kabler

På grunn av faren for brannspredning og røykproduksjon, bør større mengder kabler ikke føres ubeskyttet gjennom rømningsvei med mindre de utgjør liten brannbelastning (50 MJ/løpemetre korridor/hulrom).

Elektriske installasjoner

Elektriske installasjoner representerer økt sannsynlighet for at brann kan oppstå. Kabler må derfor ikke legges bak nedforet himling eller i tilsvarende hulrom i rømningsvei med mindre:

- kablene representerer liten brannbelastning (ca. 50 MJ/løpemetre hulrom)
- kablene er ført i egen sjakt med sjaktvegger som har brannmotstand tilsvarende branncellebegrensende bygningsdel
- himlingen har brannmotstand tilsvarende branncellebegrensende bygningsdel
- hulrommet er sprinklet

Kabelgjennomføringer i konstruksjoner hvor det stilles branntekniske krav, må ikke svekke konstruksjonens brannmotstand. Installasjoner som skal ha en funksjon under brann, må ha tilfredsstillende og sikker strømtilførsel i den tiden installasjonen skal fungere.

Strømforsyningen fra tavlerom til heissjakt, motordrevne røykluker, alarmgivere, nødlysanlegg etc. må være beskyttet mot brann. Tilfredsstillende sikring kan oppnås f.eks. ved sprinkling, ved at kabler legges i innstøpte rør med overdekning minst 30 mm eller at det brukes kabler som beholder sin funksjon/driftsspennning minst 30 minutter for bygg i brannklasse 1 og 60 minutter for bygg i brannklasse 2 og 3. Installasjoner som skal fungere under sløkking må sikres strømtilførsel i nødvendig tid.



6. Beskyttelse ved bruk av brannhemmende maling

6.1. Forskjellige typer maling på markedet

Firesafe bruker flere forskjellige malinger fra Unitherm. Valg av produkt kommer an på hva som skal beskyttes, og det finnes flere forskjellige typer brannhemmende maling både for stål og kabler. Noen av disse kan kombineres i bruk.

Det finnes flere produsenter på markedet, og Unitherm er en av produsentene og leverandørene til Firesafe. Brannhemmende maling er et produkt som stadig er under utvikling og stadig blir oppdaget av flere og flere.

6.2. Bruksområder

Bruksområder for brannhemmende maling er kabler, søyler og konstruksjon generelt som svekkes under påkjønning av brann og høye temperaturer. Produktet senker utslipp av giftige gasser slik som HCl- og CO. Malingen hindrer også brennende plast fra å renne ned på mennesker eller annet som oppholder seg der det brenner, og vil derfor brukes i forbindelse hvor dette kan medføre fare. Mengden med maling som blir brukt på materiale vil ha noe å si for den totale brannsikkerheten, og dette bestemmes ut i fra pris og ønsker fra kunden. Et ønskelig område for dette produktet er for eksempel kjøpesenter, sykehus og andre store bygninger med store åpne områder som kabler går gjennom. Nyere bygg bruker stadig mer kabeltetting og brannhemmende maling.

6.3. Påføringsmetoder

Påføringsmetode og tykkelse varierer noe fra produkt til produkt. Når det gjelder Unitherm 38104, som oppgaven handler om, kan malingen påføres kabler og kabelbro med enten kost eller høytrykkssprøyte. Tykkelsen kan variere fra 500 til 1500 μm i tørket tilstand, der 1100 μm eller mer er anbefalt hvis malingen skal beskytte mot korrosivitet. Det bør ikke påføres mer enn 600 μm våtfilmtykkelse per strøk. Ved påføring må det tas med i beregningen at malingtykkelsen reduseres med ca. 40 %. Videre bør ikke malingen påføres ved temperaturer under 10 °C, eller ved luftfuktighet over 80 %, da det kan oppstå komplikasjoner med herding av malingen. ^[11]

6.4. Egenskaper ved brann

Kabelmaling er passiv brannbeskyttelse som brukes som forebyggende tiltak. Malingens egenskaper ved brann varierer mellom ekspanderende og ikke ekspanderende. De malingstypene som er ekspanderende lager et brannhemmende og varmeisolerende skumlag rundt kabelen. Ikke- ekspanderende maling som utsettes for varme danner en tynn beskyttende hinne rundt kabelen. Som regel inneholder denne hinnen kjemisk bundet vann som frigis under varmepåvirkning, og på den måten leder varmen bort fra selve kabelen.



6.5. Fordeler med bruk av kabel maling

Det er flere ting som taler for bruk av kabelmaling, der både påføringsmuligheter og dens gode brannegenskaper er to viktige punkter. Bruk av kabelmaling innebærer ikke vanskeligheter for vedlikehold eller videre bruk av kabel broene med det menes at de er lett å legge inn flere kabler. Kabelmalingen skal også ha en dempende effekt på utslipp av CO- og HCl-gasser når PVC brenner. HCl-gasser er særdeles livstruende for mennesker, men et annen viktig moment er skadene korrosive gasser forårsaker. Da spesielt med tanke på elektriske datakomponenter og annet elektrisk utstyr, samt stålkonstruksjoner og stålforsterket betong. Disse skadene kan oppstå i betydelige avstander fra selve brannstedet, og på den måten forårsake sekundærskader som i mange tilfeller vil være langt større i skadeomfang enn selve brannskadene. ^[10]

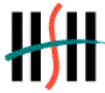
Kabelmalingen kan brukes til to formål; den kan enten påføres i et tynt lag som hindrer videre spredning av brann, eller den kan påføres i større mengder og vil da gi en total beskyttelse av kablen og sørge for fortsatt drift, selv om den er utsatt for direkte flammer.

På grunn av at kabelmalingen veier mindre enn mange andre brannhemmende konstruksjoner, kreves det ikke forsterkning av kabelbroen på grunn av økt last. Dette er både tidsbesparende og mer økonomisk.

6.6. Unitherm 38104

Unitherm 38104 er en maling beregnet for beskyttelse av kabler og kabelbro, med den egenskapen at den ekspanderer. Selve kabelmalingen ekspanderer og utvikler et porøst skumlag opptil 40 ganger sin egen tykkelse ved eksponering av brann- og eller varme, og på denne måten øker kabelens levetid under branneksposering. I tillegg er malingen designet til å nøytralisere HCl-gass (som utvikles når PVC brenner), ifølge Unitherm opptil 83 %. ^[10]

For å kunne få en penere flate kan Unitherm 38202 brukes. Dette malingsproduktet er i flere farger, og virker i tillegg beskyttende mot vannskader.



7. Transformatorstasjoner

7.1. Generelt

Funksjonen til en transformatorstasjon er å transformere spenningen fra 50 000V ned til 15-20 000V, for deretter føre dette til en nettstasjon som reduserer styrken til kundens behov, som regel vil det si 390/220V. ^[11]

Ved eventuell stopp i strømfordelingen ilegges nettselskapene et straffegebyr som samsvarer med det samfunnet taper på et strømbrudd. Det varierer fra 8 kroner pr. kilowatttime energi som ikke leveres til private husholdninger og opp til 99 kroner pr. kilowatttime for strømbrudd til handels- og næringsvirksomhet. Straffen blir iverksatt ved at selskapene tvinges til å redusere sine inntekter i fremtiden. Det er med andre ord alle kundene til nettselskapet som får indirekte kompensert for strømbruddet. Med så høye satser blir det fort snakk om store beløper. Som eksempel på det ble nettleverandøren Lyse ilagt en bot på omtrent 50 millioner kroner for et enkelt strømbrudd i 2003. ^[12] Dette er en medvirkende årsak som gjør det nødvendig å sikre stasjonene mot brann og andre faktorer som kan medføre strømbrudd på best mulig måte

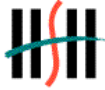
7.2. Konsekvenser ved brann

En transformatorstasjon består av store åpne arealer og store mengder kabler, der en brann kan skade både transformatorer og kabler, ved blant annet ioniserende røyk. Denne røyken er strømførende og kan medføre overspenning og kortslutning i transformatorene. Ioniserende røyk dannes når kabler eller andre objekter overopphetes eller brennes.

Det er til vanlig ikke mennesker på transformatorstasjonene, da alle funksjoner styres og overvåkes av operatører fra en sentral enhet som har oversikt over flere stasjoner. Det er kun vedlikehold og lignende som krever personell på en transformatorstasjon. Hvis det først begynner å brenne på en slik plass, har brannvesenet alltid med seg en fra kraftselskapet som kan skru av prosessene som foregår og veilede slik at slokkingen kan bli utført på en trygg og sikker måte, uten at sekundærskadene blir for omfattende.

Hvis det skulle bryte ut brann er det viktig å redusere aktiviteten i anlegget, og prøve å rute om strømleveransen til alternative nettverk og transformatorstasjoner. For at dette skal være mulig, må kabler og annet utstyr opprettholde sin funksjonalitet i den tid som er nødvendig.

Samfunnet lider under strømstans, da det påvirker livet til alle. Spesielt med tanke på institusjoner hvor det er maskiner og utstyr som påvirker personers helse direkte, slik som sykehus og aldershjem. Større industrianlegg er svært sårbare mot strømstans, som selv med nødstrømsaggregat må senke produksjonshastigheten. Et eksempel på dette er aluminiumsverk som har store smeltedigler. De er oppvarmet med strøm og vil kunne bli totalt ødelagt.



7.3. Full kraftkrise i California

5. og 6. mars 2001 gikk strømmen i store deler av delstaten California vest i USA. Den direkte årsaken til strømbrytning var uvanlig varmt vær og overbelastning av kabelnettet, og problemene toppet seg da det ble utført reparasjonsarbeider flere steder på nettet, samt at det brøt ut brann i en transformatorstasjon. Dette fikk problemene til å toppe seg denne uken, som førte til at over en million mennesker ble uten strøm. USAs energiminister Spencer Abraham advarte om at landet som helhet står overfor sin verste kraftkrise siden 1970-årene. Han mente at problemene i California ikke skyldes spesielle forhold i denne delstaten, og spådde strømmangel over hele kontinentet^[13].

Dette viser hvilke konsekvenser en brann kan forårsake hvis den bryter ut i en transformatorstasjon.

8. Testing av brannhemmende maling på kabler

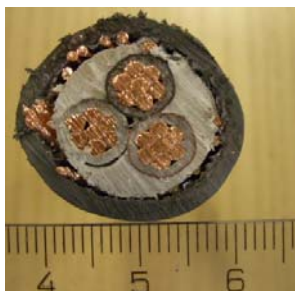
8.1. Generelt

Vår oppdragsgiver, Firesafe, har bedt oss om å dokumentere effekten av et nytt kabelmalingsprodukt, Unitherm 38104. Ønsket brannmotstand på produktet fra oppdragsgiver er oppgitt til 15 minutter, der det skal fokuseres på både integritet og brannspredning. Med brudd i integritet menes brudd på kabelens elektriske lederegenskaper, der isolasjonen mellom lederne ødelegges. Kablens evne til å motstå en brann er begrenset til det syntetiske plastmaterialet som brukes til isolasjon og kappemateriale. Ved påføring av et nytt brannhemmende materiale rundt kabelkappen økes brannmotstanden tilsvarende malingens branntekniske motstandsdyktighet.

I samarbeid med oppdragsgiver ble det enighet om å bruke kabler fra Nexans, som er en av verdens ledende produsent og leverandør av kabler for energi og telekommunikasjon. Kablene er utviklet og produsert av Nexans, med tanke på bruk både innendørs og utendørs i jord uten ekstra form for beskyttelse når det gjelder naturlig nedbrytning. Kablene brukt i forsøkene er sertifisert i henhold til EN 50265 (vertikal flammespredning) og IEC 60332-1 (vertikal flammespredning og røykutvikling). Ytterkappe og isolasjon er produsert i blyfri polyvinylklorid (PVC), og er sertifisert for normal driftsspenning på 230V, 400V og 690V^[14].



Figur 2: 10 mm med 3 kobberledere.



Figur 3: 20 mm med 3 kobberleder.



Figur 4: 30 mm med 4 aluminiumsledere.

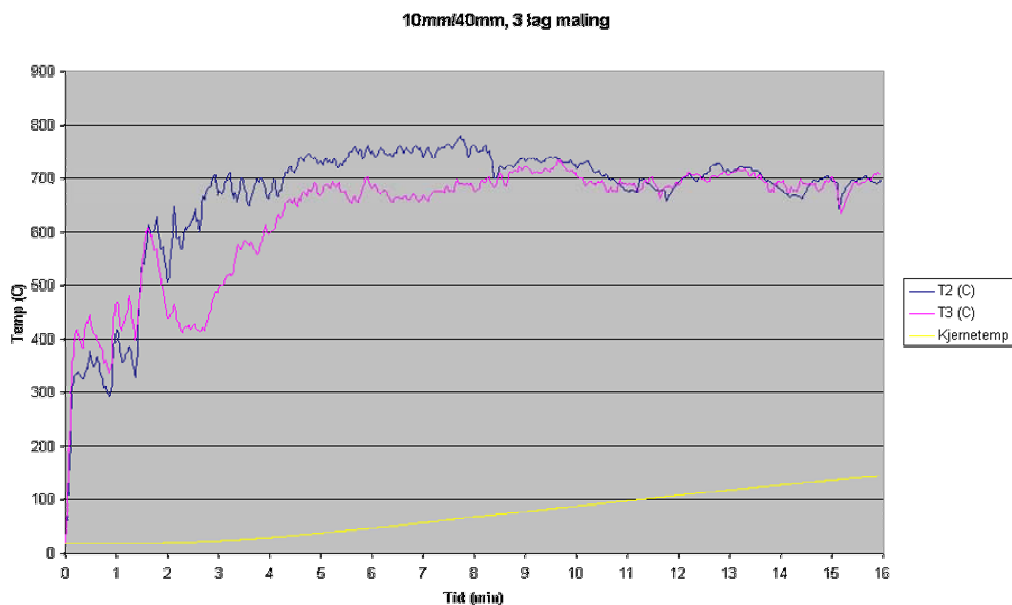


Figur 5: 40 mm med 4 aluminiumsledere.

8.2. Forsøkene

Forsøkene ble utført på skolens brann- lab i åpent rom [Vedlegg 9 – Forsøksbeskrivelse].

Kravet som ble satt av Firesafe var at kablene skulle utsettes for direkte flammer, med en temperatur mellom 650 og 850 °C. Temperatur, branntid og andre parametere ble bestemt i samråd med oppdragsgiver. Testene er videre dokumentert med kamera, der bilder ble tatt før, under og etter testene var ferdige. Etter å ha diskutert med oppdragsgiver og ansatte fra Øst Kraft, ble det enighet om å teste kablene i en tidsperiode på 15 minutter, der de skulle utsettes for store brannpåkjenninger med relativt høye temperaturer [Vedlegg 10]. Kablene skulle ha minimumslengde på 1.5 meter, dette ble gjort for å ha god margin med tanke på spredning horisontalt.



Figur 6: Temperatur som kabler og kabelbro ble utsatt for.

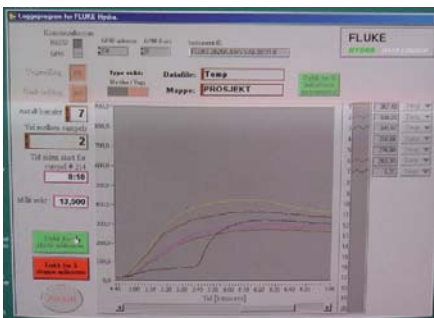
Når kablene skulle males ble de først montert på kabelbroen, deretter malt i ønsket tykkelse [Vedlegg 13]. For å måle effekten av kabelmalingen ble det brukt termoelementer inne i kabelen. Disse ble kun brukt på de største kablene (40 mm/diameter) på grunn vanskeligheter ved montering i de mindre. Testene ble utført med to termoelementer på kabelbroen i tilnærmet lik høyde med kablene i hvert forsøk for å kunne se temperaturene kablene ble eksponert for.

Til å registrere alle data ble en Fluke Hydra 2620 datalogger som kan logge data fra 20 termoelementer benyttet. Denne ble stilt inn til å logge temperaturene fra tre termoelementer annethvert sekund. Se Fig.7.



Figur7: Bildet viser dataloggeren, Fluke Hydra 2620.

DELL pc og skjerm var koblet opp med dataprogrammet Labview, Hydralog, utviklet av Torgrim Log og Gisle Kleppe. Se Fig.8. Labview registrerte temperaturene fra dataloggeren. Tallmaterialet ble presentert på et format som lett kunne legges i regneprogrammet Excel for videre behandling.



Figur 8: Bildet viser pc-skjerm med loggeprogrammet Labview, Hydralog.

Bruddtid, når lederne i kabelen berører hverandre, ble målt ved hjelp av et multimeter [Vedlegg 14]. Dette apparatet måler kortslutning selv om det ikke føres strøm gjennom lederne. Alle testene ble utført med like parametere for å kunne gi et mest mulig nøyaktig og sammenlignbart resultat.

Det ble anbefalt av oppdragsgiver å bruke kabler med forskjellige mengder maling for å se om effekten var lineær med mengde påført maling. Det ble også utført tester uten maling for å se effektforskjellen med/uten maling.

8.3. Resultater

I midten av alle testkablene på 40mm/diameter ble det plassert et termoelement, dette ble gjort for å kunne lese av temperaturstigningen inne i kablene. Som det fremkommer av grafen, ligger kjernetemperaturen i kabelen uten maling hele 236 °C over kabelen med 3 lag maling etter 15 minutter.

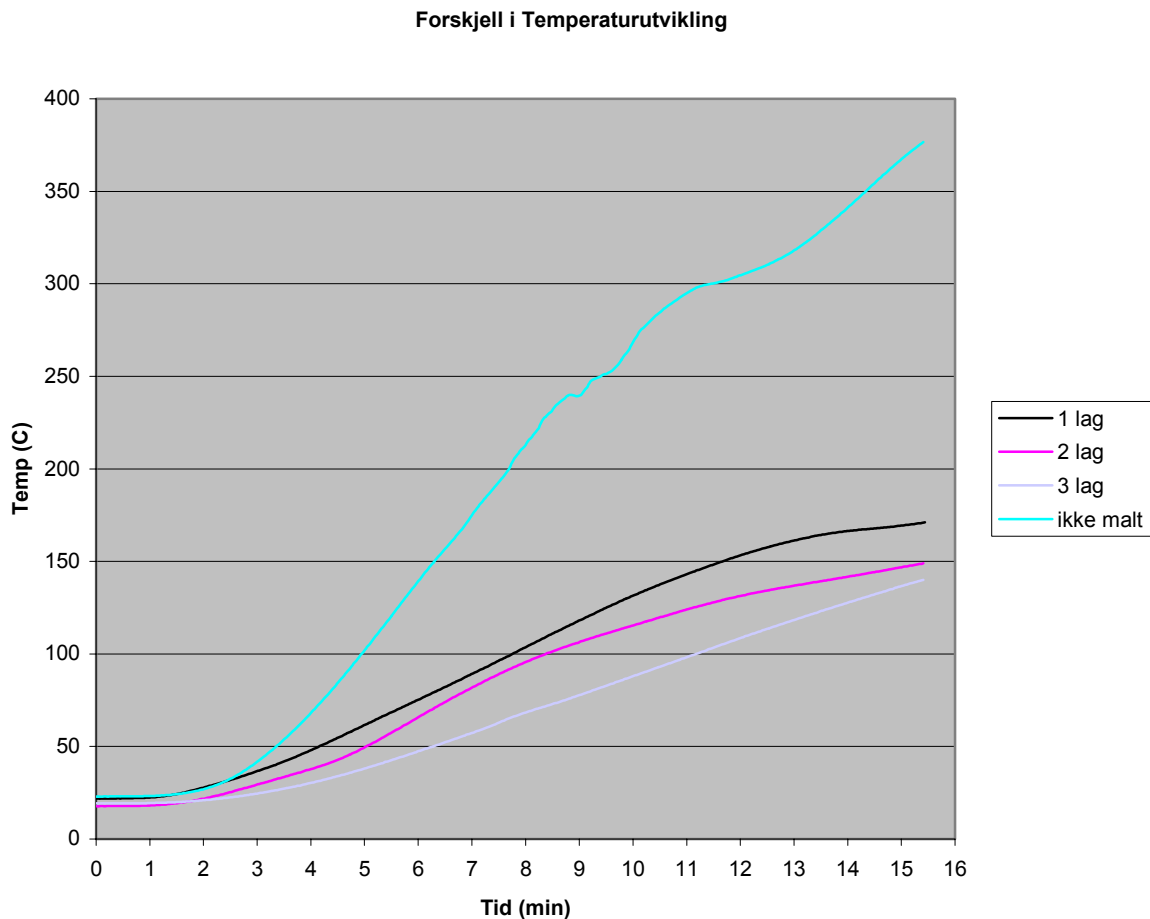


Diagram 1: Temperatur i kjernen av kablene.

Bruddtid

Med bruddtid menes den tid det tar fra brannen starter, og til en av lederne kommer i kontakt med hverandre eller til jordet leder, og fører til kortslutning. Det er ikke ført strøm i kablene under forsøket, men kun målt med multimeter.

Tid til kortslutning

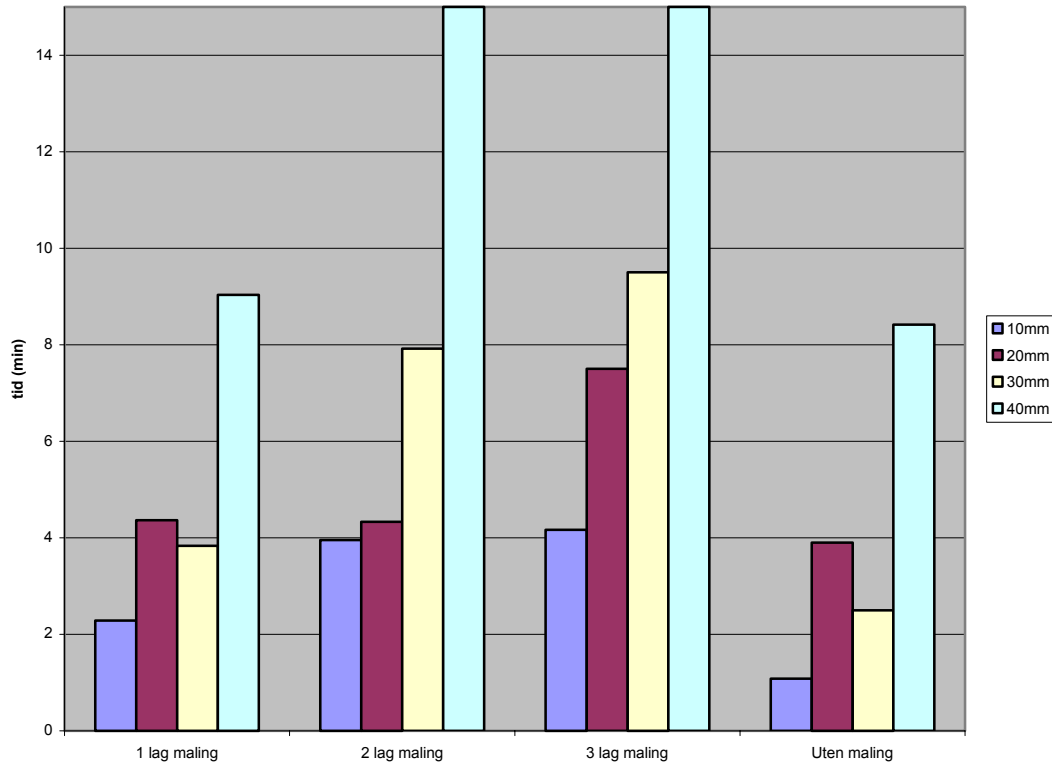


Diagram 2: Tid før isolasjon mellom ledere smelter og kortslutning oppstår.

Som en ser av stolpediagram 2 er det tydelige forskjeller på varighet for kabelen (funksjonstid), der det er tydelig at mengden maling på kabelen påvirker dens funksjonstid. Stolpediagrammet viser også effekten av malingen kontra en ubehandlet kabel.

Brannspredning på kabel

Et viktig moment i forsøket er å teste de branntekniske egenskapene til brannmalingen med hensyn på brannspredning [Vedlegg 15]. Brannspredningen på kablene er målt fysisk med målebånd over eksponeringsområde der det er synlig skade.

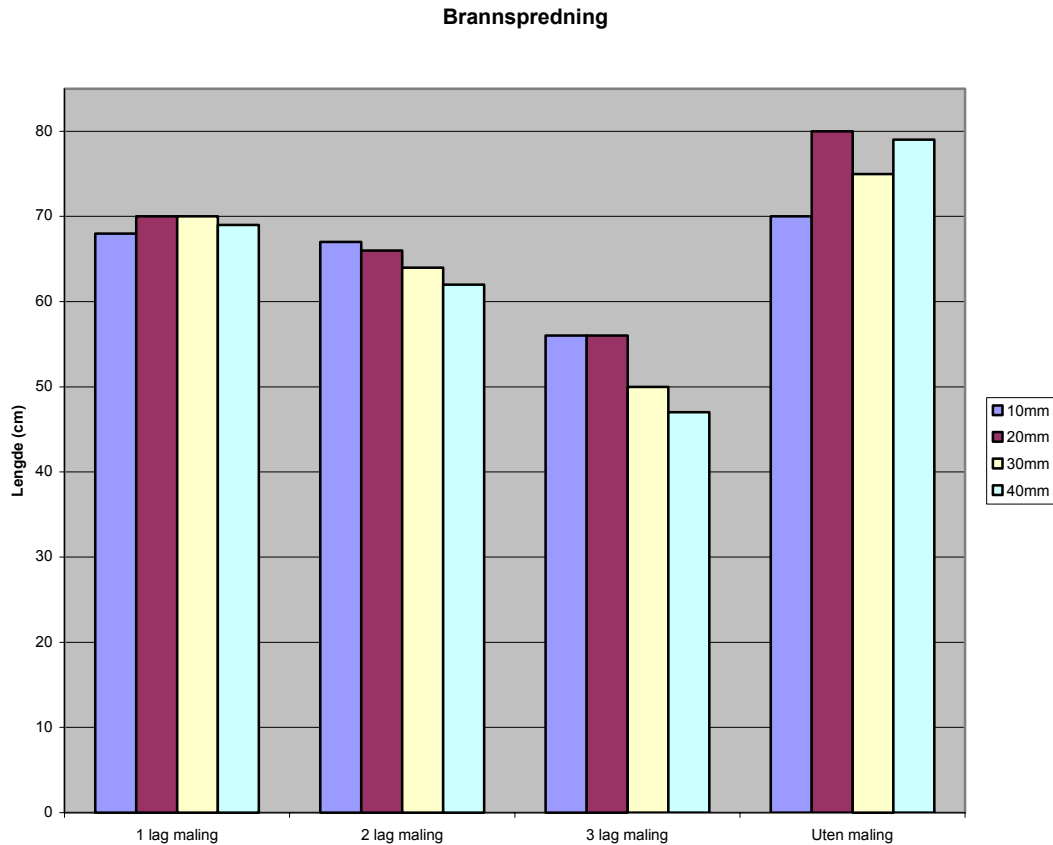


Diagram 3: Visuell skade brannen har påført kablene etter 15 minutter.



Figur 9: Eksempel på 40 mm kabel uten brannhemmende maling som er eksponert for brann i 15 minutter. Spredning er målt ut i fra berørt område.

9. Diskusjon

9.1. Oppsett og usikkerheter ved forsøk

Forsøkene ble utført i høyskolens brann- lab i et åpent rom, hvor forsøkene ikke ville påvirkes særlig av vindforholdene, selv om det oppstod noe turbulens fra ventilasjonsanlegget. Selv om dette ble utført i en liten skala i forhold til hva en reell situasjon sannsynligvis ville tilsi, så ga dette et godt sammenlikningsgrunnlag. Det var også en fordel ved at det ble lettere å kunne kontrollere brannen, samt ga et mer nøyaktig overslag av skader på kablene.

Det var to kabler per forsøk. Dette ble gjort for å kunne analysere hver enkel kabel etter eksponering, herav måle skadet område. Da det var begrenset lengder med kabel, var det også en trygghet med hensyn på eventuelle mislykkede forsøk. Det sees i ettertid at det kunne vært nyttig og utført forsøk med eksponering av flere kabler samtidig for å se på hvilken effekt de ville hatt på hverandre.

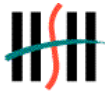
Kablene ble lagt horisontalt for å kunne oppnå en sentrert og høy brannbelastning med tanke på hva som kan skje i et virkelig scenario. Horisontal plassering ble også valgt fordi det er mest reelt med tanke på hvordan kabelbroer er plassert i bygninger. Som drivstoff ble det brukt bensin fordi dette ga en temperatur og flamme som var ønskelig i forsøkene.

Ved måling av brudd i kablene under forsøkene ble det ikke ført strøm gjennom lederne, men det ble brukt multimeter for å kunne gi tidspunkt for kortslutning. Det var ønskelig å utføre testene med strøm i kablene for å måle variasjoner i spenningen, samt eventuell tidligere kortslutning ved overledning under oppvarming. Dette ble ikke gjort på grunn av at forsøkskablene kun var 1.5 meter lange, og fordi det ikke var mulig å utføre med ønskelig spenning (1000V) på brannlaboratoriet. Denne lengden er for kort til å kunne gi et reelt svar på variasjoner i spenningen. Hvis dette skulle bli målt burde forsøkslengdene vært betydelig lengre. Ved høy spenning under forsøkene ville det sannsynligvis blitt kortslutning en del tidligere med tanke på krypspenning når isolasjonen begynner å svikte. Med høyere spenning i kablene ville det også vært høyere temperatur inne i kablene som ville medvirke til å oppvarme isolasjonen.

En vesentlig grunn til at 10- og 20 mm kablene kortsluttet tidligere enn de øvrige, er at disse kablene har kobberledere som leder varme bedre enn aluminiumsledere som blir brukt på 30- og 40 mm. Brannteknisk bør aluminiumsledere anvendes, nettopp på grunn av overnevnte årsak. Men fordi kobber har mindre motstand og leder svake strømsignaler bedre, blir det ofte benyttet til dette formålet.

Kablene ble malt med pensel, og det ble kun tatt hensyn til hvor mange lag som ble utført. Det vil derfor være usikkerheter med tanke på nøyaktig tykkelse under forsøkene. Dette kunne blitt målt med egnet utstyr, men det var ikke tilgang til dette under forsøkene.

Testen består kun av én type kabelmaling, og dette gir oss ikke noen sammenlikningsgrunnlag. Det ville vært interessant og prøvd flere forskjellige kabelmalinger, og på denne måten få et bedre bilde av hvordan forskjellen er på ekspanderende/ikke ekspanderende kabelmaling.



Det vises av tid/temperatur- grafene at temperaturen ikke holdes jevnt under forsøkene. Dette skyldes at termoelementene som var plassert inn i flammene ble isolert og flyttet på av den brannhemmende malingen som var påført kablene da den ekspanderte. Alle parametere, herav drivstoff, kar og kabler/kabelbro, lå optimalt likt under alle forsøkene. Dette gir da et nøyaktig sammenlikningsgrunnlag testene i mellom.

9.2. Videre forsøk

Når forsøkene var ferdige var det fortsatt mange svar som var ubesvarte. Det ville vært av stor interesse og sett på hvordan resultatene ville blitt hvis det hadde blitt utført tester med flere strøk maling på, og samtidig målt tykkelsen på den. Det ville også vært interessant og sett på flere kabler under eksponering samtidig, og målt bruddtid. Dette ville gitt en situasjon som er mer lik slik det er virkeligheten, hvor det ofte er kabelbroer fulle med kabler.

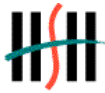
Kabelbroene burde i tillegg til å bli eksponert horisontalt, også bli testet vertikalt med tanke på brannspredning. Da kunne det blitt vurdert opp mot offisielle tester slik som EN50265 (vertikal flammespredning) og IEC60332-1 (vertikal flammespredning og røykspredning)^[15]. Det ble heller ikke testet for gasser som ble frigitt under forsøkene, noe som kommer av at det ikke var tilgjengelig utstyr for denne typen målinger. Disse målingene hadde i så fall vært veldig interessante med tanke på hvor mye røykgasser malte kabler kontra kabler uten maling avgir, og hvor skadelig det kan være for mennesker.



10. Konklusjon

Ved testing i denne rapporten presenteres en brannhemmende kabelmaling som viser seg å ha en positiv effekt under eksponering av brann, der kabelen var funksjonsdyktig selv etter en brannpåvirkning i 15 minutter [Vedlegg 12]. Kabler med brannhemmende maling viste en økt funksjonstid og mindre brannspredning. Kjernetemperaturen var langt lavere med maling, selv med ett lag, enn den uten. Det viste seg imidlertid at det bør være flere lag maling da det ga et vesentlig bedre resultat. Forskjellige parametere under forsøket, slik som høyde av kabelbro over flammene, brensel og termoelementer var plassert likt under samtlige forsøk. Denne nøyaktigheten gjorde det mulig å sammenlikne resultatene, og trekke konklusjoner ut av det.

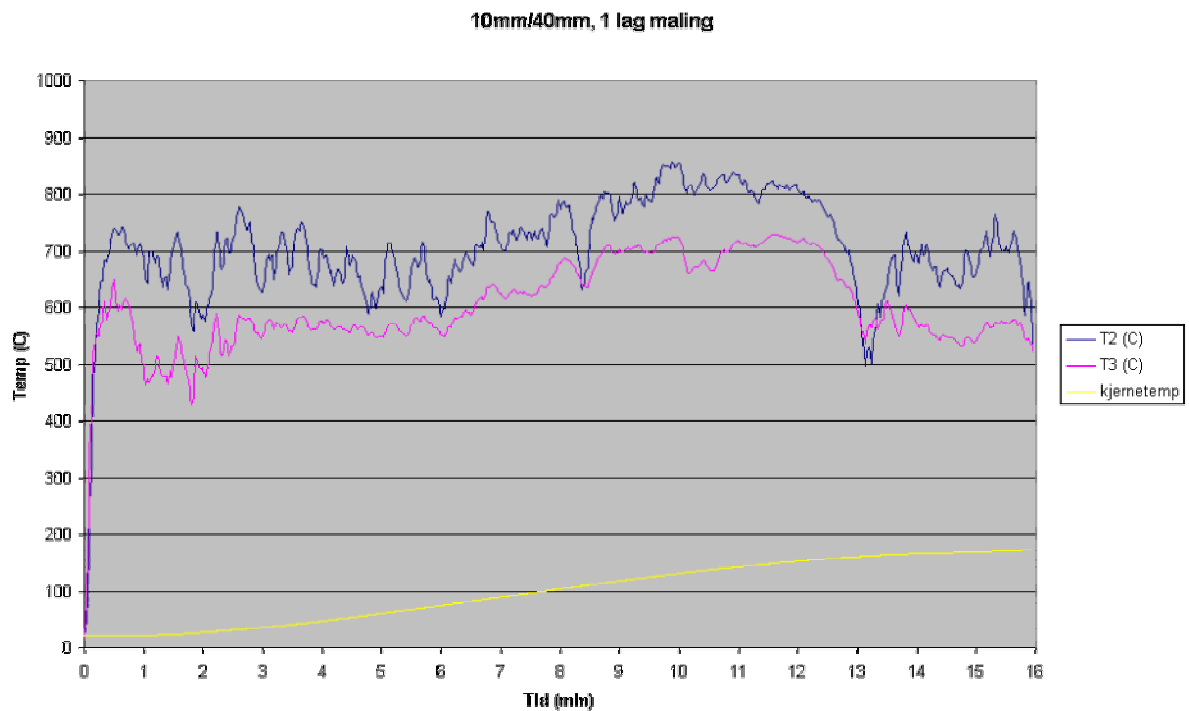
Når det gjelder å sikre seg mot brannskader på en transformatorstasjon vil det alltid være et spørsmål om nytteverdi kontra pris. Det er ikke ofte det bryter ut brann på transformatorstasjoner, men når det skjer er som regel konsekvensene store. Brannhemmende kabelmaling er et svært godt alternativ på markedet som er konkurransedyktig på pris, funksjonalitet og krever lite vedlikehold. Ved bruk av kabelmaling kreves det lite forberedelser og forandringer på det eksisterende anlegget.



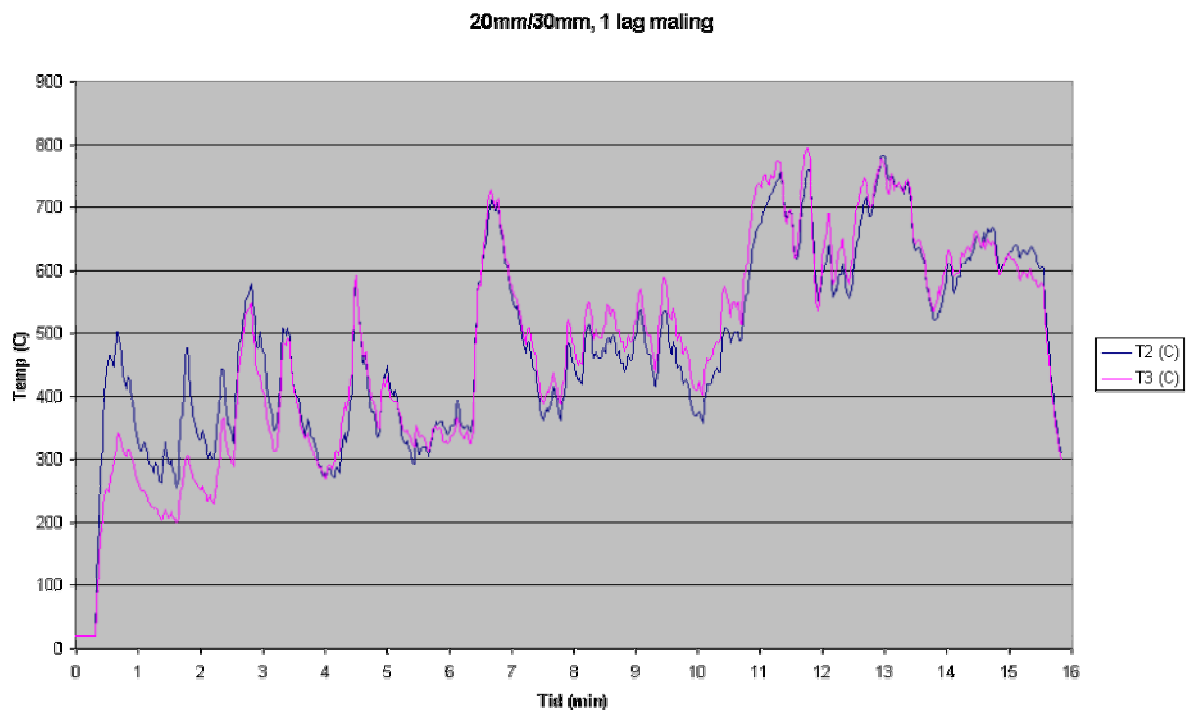
11. Referanser

1. Vealo Torbjørn, Kulbotten Harald, Brannsikring av kablanlegg, Brannvern i Norge ved årtusenskiftet, Falch Hurtigtryk,
 2. Nyberg B. R., Avgassing fra overopphetede kablmaterialer, SINTEF Energiforskning, EFI TR A2725, 1981
 3. Webside http://www.fg.fnh.no/data/doc/237/CEA___nettversjon2.pdf
 4. Nyberg Bjørn R., Kulbotten Harald, Brannsikring av Kabelforlegninger, Norsk Brannvern Forening, EFI SINTEF- Gruppen, ISBN 82-7485-000-9, 1988
 5. Webside http://www.brannmannen.no/hovedrammer/trinn_for_trinn.htm
 6. Webside <http://www.brannmannen.no/arkiv/2003/2-03/sider/vanntake.htm>
 7. Webside http://www.brannmannen.no/hovedrammer/trinn_for_trinn.htm
 8. Webside <http://www.brannmannen.no/arkiv/2002/4-02/sider-4-02/inergen.htm>
 9. Webside <http://www.noha.no/GetFile/0CB4E15EB2E42854C1256E53002A440E/Argonite%20brosjyre.pdf>
 10. Webside <http://www.unitherm-online.com/wisspool/index.php?kid=37&p=in#>
 11. Skriftlig materiale fra Firesafe ved/ Per Ulvedalen
 12. Webside <http://www.vg.no/pub/vgart.hbs?artid=204761>
 13. Webside <http://www.vg.no/pub/vgart.hbs?artid=7642401>
 14. Webside <http://www.nexans.no>
 15. Webside <http://www.sab-brockskes.de/de/file/techn/techndatausa24-27.pdf>
 16. Drysdale, Dougal: An introduction to fire dynamics, second edition, John Wiley & Sons Ltd, England, 1998.
- [xx] Webside <http://www.byggforsk.no>

12. Vedlegg



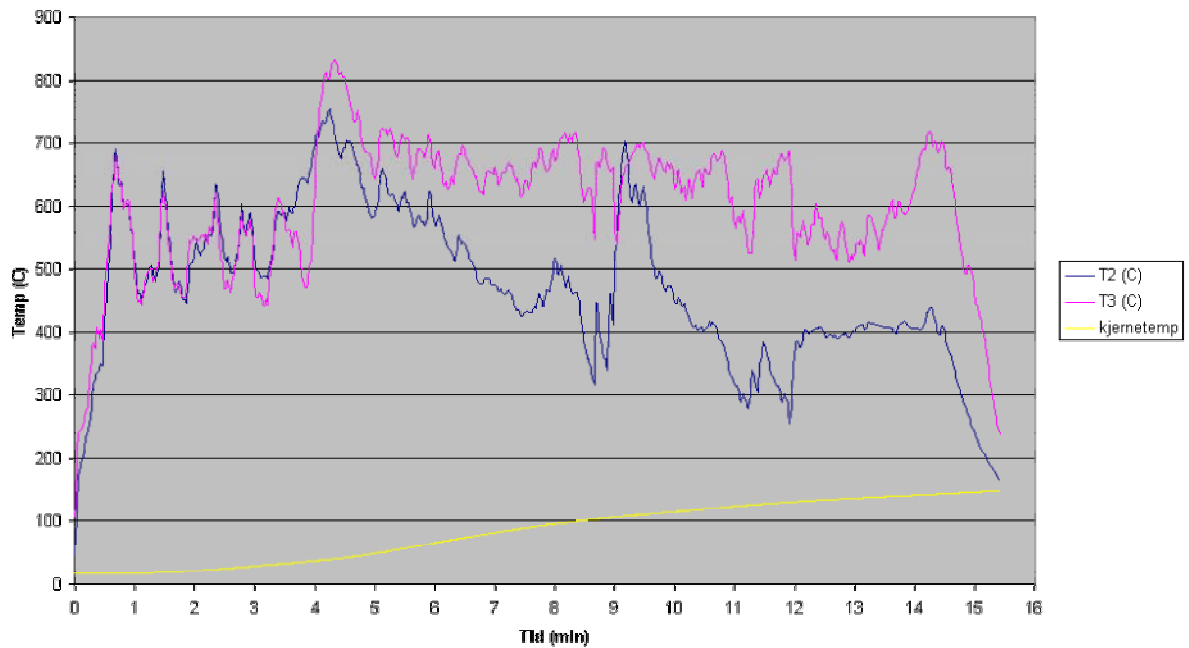
Vedlegg 1: Temperatur/tid- kurve med ett- lags maling på 10- og 40 mm kabler.



Vedlegg 2: Temperatur/tid- kurve med ett- lags maling på 20- og 30 mm kabler.

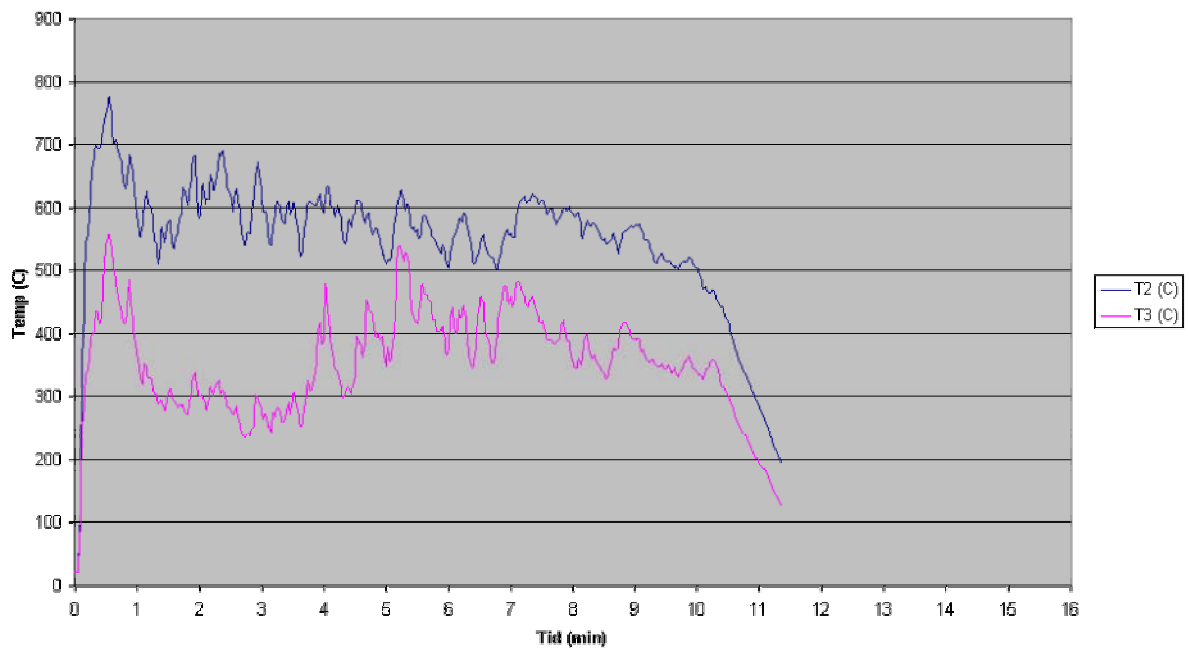


10mm/40mm, 2 lag maling



Vedlegg 3: Temperatur/tid- kurve med to- lags maling på 10- og 40 mm kabler.

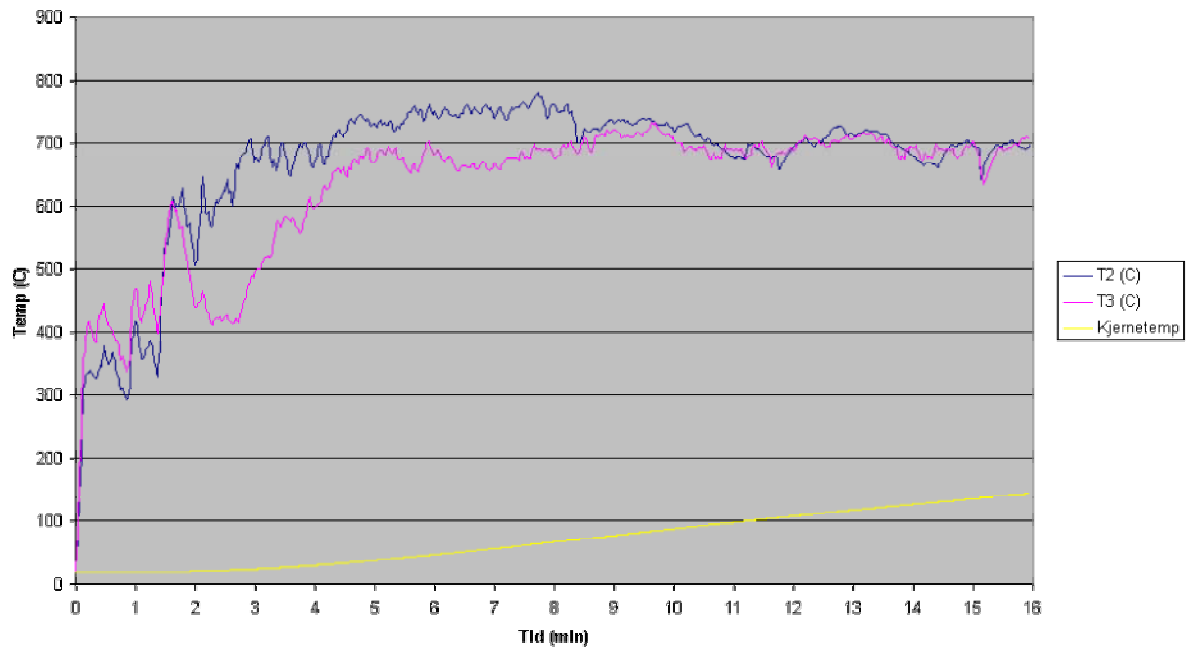
20mm/30mm, 2 lag maling



Vedlegg 4: Temperatur/tid- kurve med to- lags maling på 20- og 30 mm kabler.

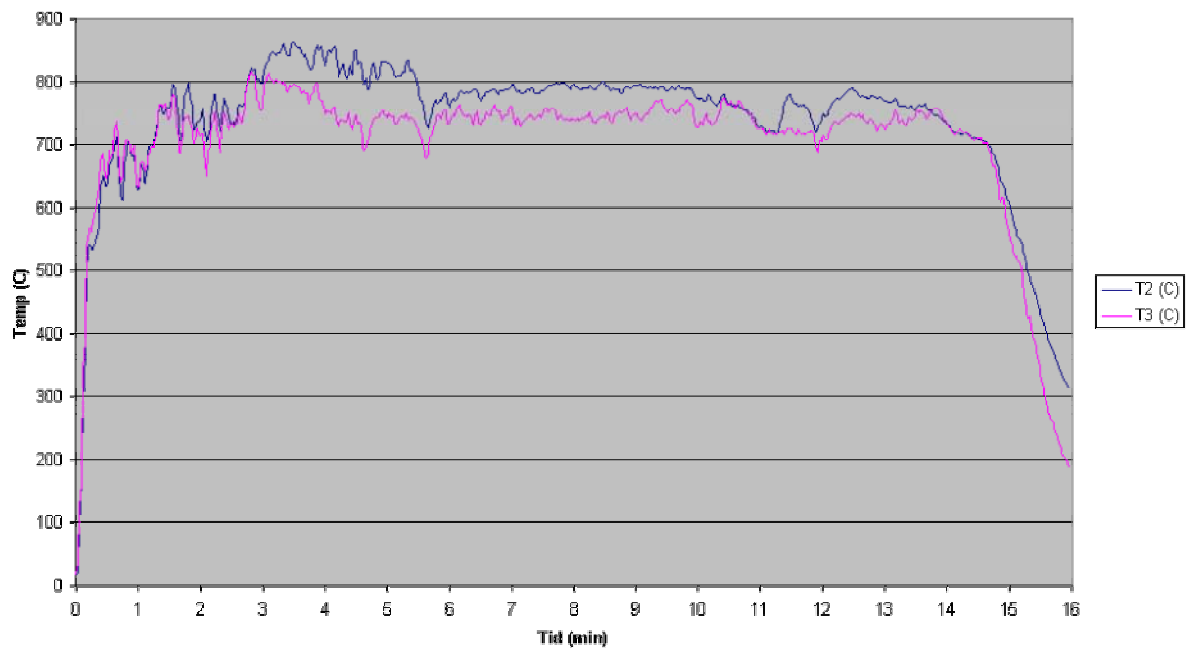


10mm/40mm, 3 lag maling



Vedlegg 5: Temperatur/tid- kurve med tre- lags maling på 10- og 40 mm kabler.

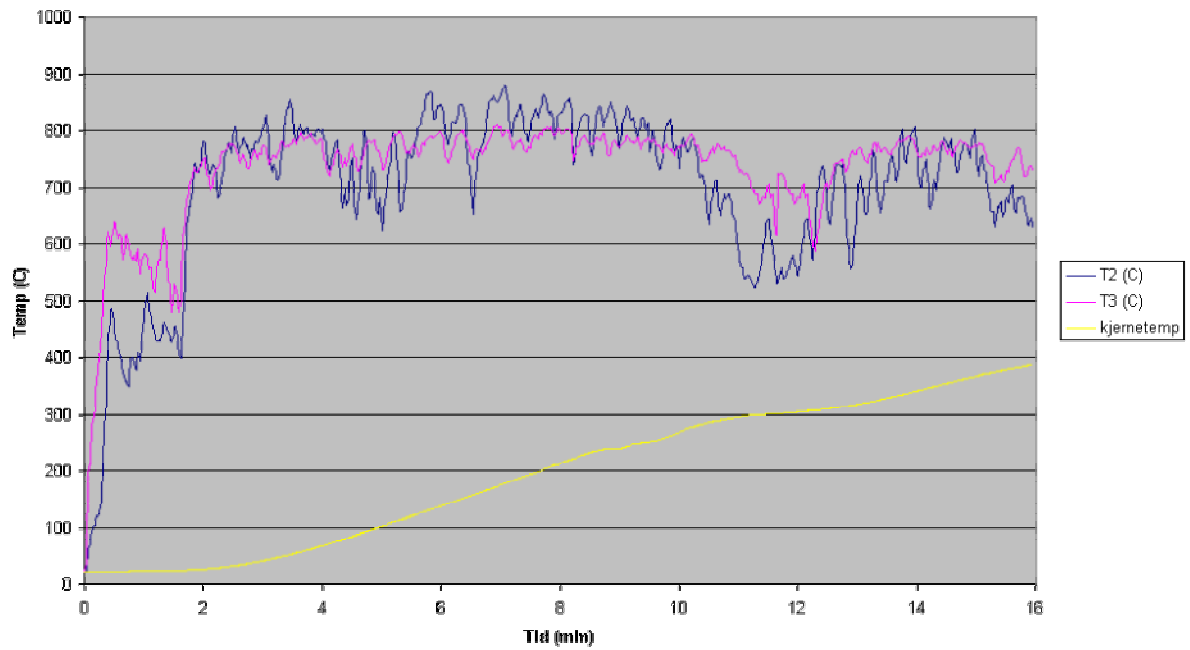
20mm/30mm, 3 lag maling



Vedlegg 6: Temperatur/tid- kurve med tre- lags maling på 20- og 30 mm kabler.

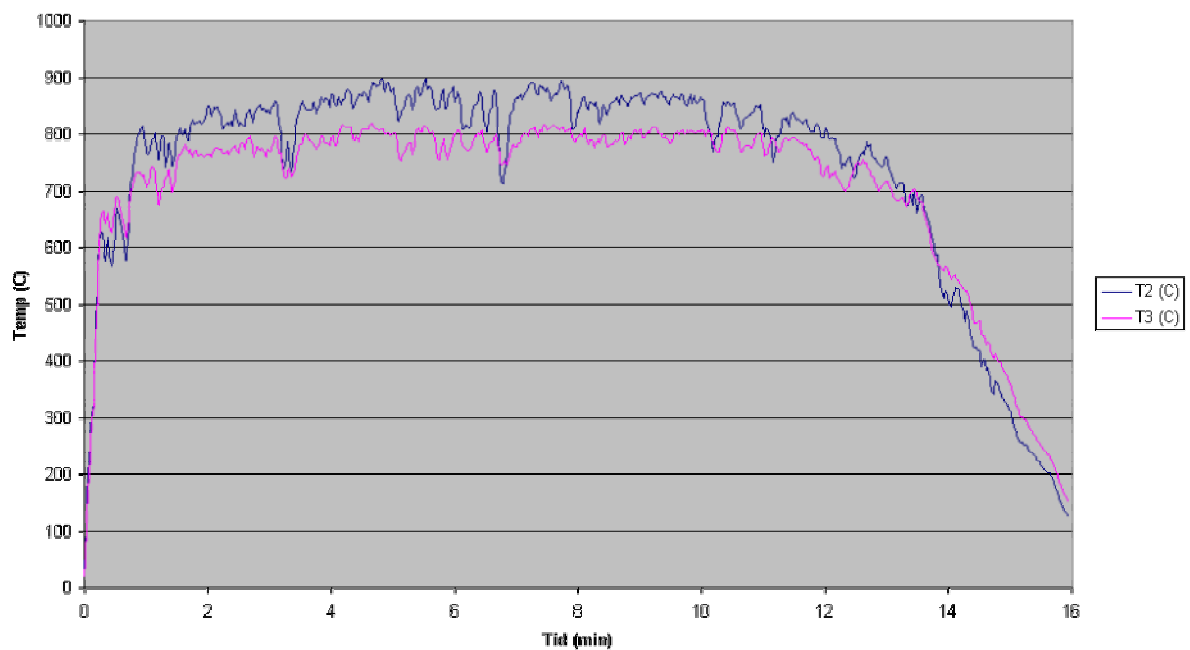


10mm/40mm, uten maling

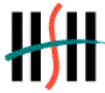


Vedlegg 7: Temperatur/tid- kurve uten maling 10mm/40mm kabler

20mm/30mm, uten maling



Vedlegg 8: Temperatur/tid- kurve uten maling 20mm/30mm kabler



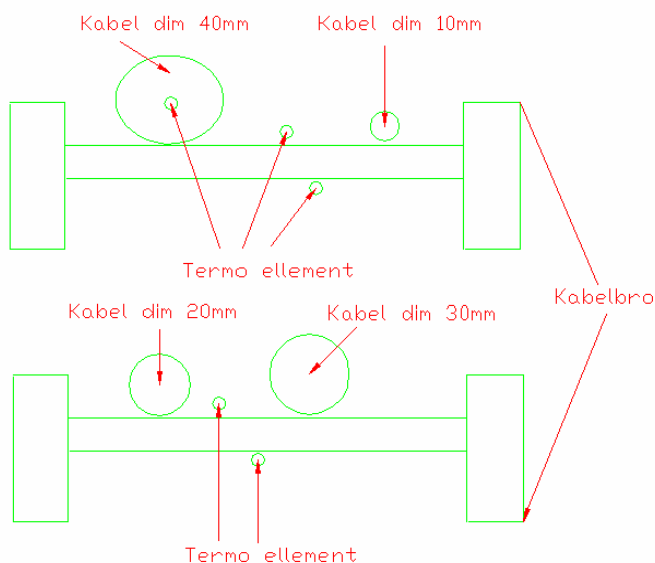
Avdeling for ingeniørfag

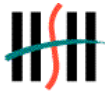
Brannteknisk laboratorium

HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Hovedprosjekt**Test av kabelmaling under brannekspnering****• Utstyr**

- Vannslange, CO₂ apparat og pulverapparat (sikkerhetsutstyr)
- PC med LABVIEW
- 5 termoelement (type K, 1.6 mm, mantel)
- Datalogger (Fluke Hydra 2620)
- Kar med brensel (må beregnes)
- Brensel: Bensin 95 blyfri, ca 20 dl. [vedlegg brenselmengde]
- Stormstikker
- Diskett (evt. bærbar PC)
- Kabler: lengde 2000 mm, Nexans kabler
 - 6 stk. 10 mm diameter (EL.1016530)
 - 6 stk. 20 mm diameter (EL.1016535)
 - 6 stk. 30 mm diameter (EL.1016050)
 - 6 stk. 40 mm diameter (EL.1016055)
- Kabelmaling (Unitherm 38104)
- Pensel, malerull eller annet egnet påføringsutstyr

• Apparatur



- **Prosedyre**

- Mål og noter diameteren på karet
- Start logger og PC
- Start LABVIEW
- Koble til termoelementer med enden i brannens flammesone for temperaturovervåking, samt inni selve kabelen for å overvåke eventuell temperaturstigning
- Fyll opp kar med brensel

Hensikten med forsøkene er å teste kabelmalingens egenskaper når det gjelder brannspredning, samt å sjekke funksjonsdyktigheten til kablene under og etter branneksporingen, i tillegg til å dokumentere den isolerende effekten malingen har. Dette skal gjøres på følgende måte:

- **Brannspredning**

Kablene festes med ståltråd horisontalt på en kabelbro, ca 15 cm over væskekaret, hvor det er målt til å være fra 650-850°C.

Resultatet bekreftes visuelt under og etter forsøket.

- **Funksjonsdyktighet**

Brudd i kabelen kontrolleres med et multimeter, som kobles til jordet leder og en av føringene for alle kabeltykkelsene, bortsett fra kabelen på 40 mm, som i tillegg kobles til to av føringene. Det vil si at for forsøk med 40 mm kabler benyttes to multimetre.

- **Isolerende effekt**

Temperaturstigningen i kjernen av kabelen på 40 mm måles med et termoelement. Montering av termoelement i senter av kabelen bør gjøres med bor, men andre metoder kan også benyttes. Det er viktig at termoelementet plasseres riktig i forhold til flammepunktet.

- **Beregning av brannforløp**

Brannforløpet skal vare i 15 minutter, det må da beregnes riktig mengde brensel. Dette gjøres ved hjelp utregninger, der type brensel og karstørrelse er variabler det må tas hensyn til.

Formler for utregning av nødvendig mengde brensel, \dot{m} :

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} * (1 - \exp(-k\beta D)) \quad [16]$$

$$\dot{m} = \dot{m}'' * A_f \text{ [kg/s]}$$

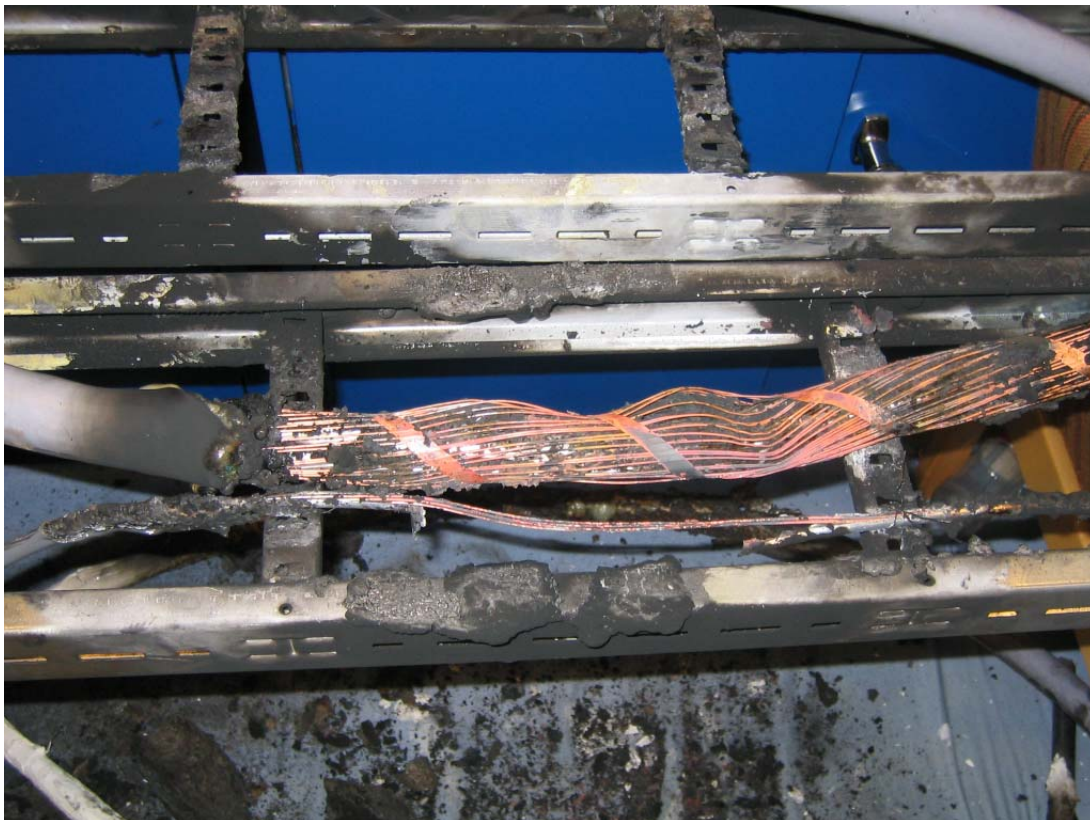


VEDLEGG

Det er stor usikkerhet rundt denne utregninga, med tanke på at tabelldataene er basert på optimale forhold rundt forbrenning da de ble utarbeidet. Formelen er utarbeidet av Zabetakis og Burgess, og er beregnet for "liquid pool fires" større enn 0,2 meter i diameter. Den kan derfor kun brukes som en pekepinn på nødvendig mengde brensel, men det er nødvendig å teste det ut i praksis før forsøkene kan begynne.



Vedlegg 10: Under forsøk.



Vedlegg 11: Kabel uten brannhemmende maling etter branneksporing i 15 min.



Vedlegg 12: Tverrsnitt av 40 mm kabel med maling etter eksponering i 15 min.



Vedlegg 13: Testoppsett før forsøket starter.



Vedlegg 14: Kobling av multimeter til ledere for måling av kortslutning.



Vedlegg 15: Kabler med brannhemmende maling etter 15 min branneksporing.



Vedlegg 16: Beregning av forbrenningsrate

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} * (1 - \exp(-k\beta D)) \text{ [xx]} \text{ (formel 5.11 Drysdale)}$$

der $\dot{m}''_{\infty} = 0,055 \text{ [kg/m}^2 * \text{s]}$, $k\beta = 2,1 \text{ [m}^{-1}\text{]}$ og $D = 0,20 \text{ [m]}$. [xx] (tabell 5.2. drysdale)

forbruk av brensel i kg per $\text{m}^2 * \text{s}$:

$$\dot{m}'' = \underline{0,018862 \text{ [kg/m}^2 * \text{s]}}$$

Formel for å finne bruk av brensel i forsøkskaret:

$$\dot{m} = \dot{m}'' * A_f$$

der A_f er arealet til forsøkskaret

$$\dot{m} = \underline{7,54497 * 10^{-4} \text{ [kg/s]}}$$

Brannen skal vare i 15 minutter, så \dot{m} multipliseres med $(15*60)$ for å få tid i sekunder.

Estimert mengde brensel blir da 0,679 kg for hele brannforløpet, og siden bensin har en tetthet ρ på 740 kg/m^3 , tilsvarer det 0,92 liter bensin.

Det er stor usikkerhet rundt denne utregninga, med tanke på at tabelldataene er basert på optimale forhold da de ble utarbeidet. Formelen er utarbeidet av Zabetakis og Burgess, og er beregnet for "liquid pool fires" større enn 0,2 meter i diameter. Den kan derfor kun brukes som en pekepinn på nødvendig mengde brensel, men det gjorde det nødvendig å teste det ut i praksis før forsøkene kunne begynne. Det viste seg at mengde brensel nødvendig for å holde brannen i 15 minutter ble ca 20 dl, altså over dobbelt så mye som utregninga viste.
