



SINTEF NBL as

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: Tiller Bru, Tiller

Telefon: 73 59 10 78
Telefaks: 73 59 10 44
E-post: nbl@nbl.sintef.no
Internett: nbl.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 982 930 057 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Varmgang i elektrisk materiell og utstyr som tennkilde i bygninger

FORFATTER(E)

Jan P. Stensaas

OPPDRAGSGIVER(E)

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

RAPPORTNR. NBL A06122	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Geir Ottersen	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN ISBN 82-14-02467-6	PROSJEKTNR. 107362.01	ANTALL SIDER OG BILAG 30
ELEKTRONISK ARKIVKODE I:\pro\107362\RAPPORT_Varmegang_fra_el.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Jan P. Stensaas	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Kristen Opstad	
ARKIVKODE	DATO 2007-02-15	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Kjell Schmidt Pedersen	

SAMMENDRAG

Hensikten med prosjektet har vært å få mer kunnskap om hvordan elektrisk materiell og utstyr med høye overflatetemperaturer kan antenne bygningsmaterialer ved normal drift eller feilsituasjoner. Selv om temperaturen er reelt høyt, vil den vanligvis være vesentlig lavere enn antennestemperaturen til materialet. En målsetting med prosjektet har vært å finne betingelsene for at dette skal skje. Rapporten beskriver de fysiske prosesser som medfører at enkelte materialer blir pyrofore, og de prosesser som senere fører til antenne av materialet.

At materialer, slik som tre, blir pyrofore er kjent fra arbeid med ildsteder etc. Overflatetemperaturer og pyrofore (selvantennelige) materialer er også et viktig tema når det gjelder elektriske produkters risikoaspekter. Dette gjelder spesielt belysningsutstyr, hvor økende overflatetemperaturer er en tendens man har kunnet observere i markedet og i standardiseringsarbeid.

Ettersom antennestemperaturen er den laveste temperaturen et materiale kan antennes ved, er det noe underlig at antenne likevel kan skje ved vesentlig lavere temperaturer. Den laveste eksperimentelt bestemte antennestemperaturen til trematerialer er ca 250 °C, men man kjenner imidlertid flere tilfeller hvor tre har antent på grunn av varmeeksponeringer rundt 100 °C, i forbindelse med ildsteder og varmtvannsrør i vegg- og golvkonstruksjoner.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Brann	Fire
GRUPPE 2	Elektro	Electro
EGENVALGTE	Pyrofore materialer	Pyrophoric materials
	Selvantennelse	Spontaneous ignition

INNHALDSFORTEGNELSE

OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER.....	3
1 INNLEDNING	5
1.1 Generelt	5
1.2 Rapportens innhold	5
2 STATISTIKK.....	6
2.1 Generelt om brannårsaker ved varmgang fra elektrisk utstyr og materiell	6
2.2 Fordelingen av branner i forskjellig belysningsutstyr	6
2.3 Brannårsaker i belysningsutstyr	7
2.4 Statistikk vedrørende brann på grunn av belysning fra USA.....	9
2.4.1 Belysning.....	9
3 BRANN PÅ GRUNN AV FORSKJELLIGE TYPER LYSUTSTYR.....	11
3.1 Forskjellige typer lysutstyr	11
3.2 Glødelampe	11
3.2.1 Generelt om glødelamper	11
3.2.2 Brann på grunn av vanlige glødelamper	11
3.2.3 Halogenpærer	14
3.2.4 Downlights	17
3.2.5 Spotlights.....	17
3.2.6 Juletrelys	18
3.3 Lysrør	18
3.3.1 Generelt om lysrør.....	18
3.3.2 Branner på grunn av lysrør.....	19
3.4 Konkluderende bemerkninger vedrørende brannfaren ved belysning	20
4 BRENNBARE MATERIALERS ANTENNELIGHET	21
4.1 Generelt	21
4.2 Antennelse	21
4.3 Antennelsesmekanismer	21
4.4 Forskjellige måter for antennelse	22
4.4.1 Antennelse med flammer	22
4.4.2 Antennelse ved gløding.....	22
4.4.3 Antennelse som ulmebrann.	23
4.5 Antennelse av trematerialer.....	24
4.5.1 Generelt	24
4.5.2 Antennelseskriterier for cellulosematerialer	24
4.6 Konkluderende anmerkninger vedrørende antennelseskriterier for tre	25
5 PYROFORT TRE.....	26
5.1.1 Responsen til tre ved lave varmepåkjenninger.....	26
5.1.2 Et eksempel med lavtemperatur antennelse av trekonstruksjoner	26
5.2 Betingelser for dannelse av pyrofort materiale	27
5.3 Brannfaren ved lavtemperatur og langvarig påkjønning av tre	28
5.4 Konkluderende bemerkninger angående antennelse av cellulosematerialer.....	29
5.5 Aktuelle situasjoner med varmegang og pyrofort materiale	29
REFERANSER	30

OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER

Målsettingen for prosjektet

- Målsettingen for prosjektet var å finne på grunnlag av en litteraturstudie hvordan varmgang fra elektrisk utstyr kan forårsake brann i bygninger. Det er her snakk om temperaturer som er vesentlig lavere enn antennelsestemperaturen¹ til varmeeksponerte materialer.
- For at dette skal være mulig, må det varmeeksponerte materialet omdannes til *pyrofort materiale*. Pyrofort (selvantennelig) materiale er i denne sammenheng et materiale som på grunn av oppvarming gjennom lengre tid, er blitt sprøtt og uttørret.
- Et slikt materiale kan selvantenne på grunn av temperatureksponering under 100 °C, ved at materialet forårsaker sin egen varmeproduksjon. Temperaturen i materialet kan til slutt stige til antennelsestemperaturen for materialet.
- Varmgang og dannelse av pyrofort materiale er mest aktuelt i forbindelse med lysutstyr.
- Det blir også fokusert på lysutstyr som forårsaker *direkte antennelse* av materialer i boliger. Dette er lysutstyr som forårsaker temperaturer som er høyere enn antennelsestemperaturen til aktuelle varmeeksponerte materialer.

Forekomsten av branner på grunn av varmgang og pyrofort materiale

- Ved gjennomgang av kommentarene i kommentarfeltet i DSBs brannårsaksstatistikk nevnes varmgang hyppigst i forbindelse med drossel/reaktor til lysrør i tak og takmontert downlight.
- Dannelse av pyrofort materiale i forbindelse med lysutstyr eller annet elektrisk utstyr blir ikke nevnt i et eneste branntilfelle i kommentarfeltet i brannstatistikk fra DSB for tiårsperioden 1995-2004.
- I den gjennomgåtte brannlitteraturen er det heller ikke beskrevet branntilfeller som har hatt sin årsak i dannelse av pyrofort materiale i forbindelse med varmgang fra elektrisk materiell og utstyr. De fleste tilfellene er i forbindelse med varmtvannsrør i golvkonstruksjoner.

Antennelses av materialer

- Lampepærer kan ha overflatetemperaturer over antennelsestemperaturen til det varmeeksponerte materialet. Dersom brannen skyldes en slik pære, er det ikke snakk om antennelse på grunn av varmgang og pyrofort materiale, men *direkte antennelse*. Eksempler på slike lamper er arbeidslamper, downlight, halogenpærer etc. Disse kan ha temperaturer godt over antennelsestemperaturen til aktuelle materialer. Overflatetemperaturen til de fleste lamper er imidlertid en god del lavere enn antennelsestemperaturen til aktuelle materialer.
- *Antennelsestemperaturen* for et materiale er ikke en materialkonstant. Den vil variere temmelig mye, avhengig av materialets tilstand, tetthet og geometri, og ikke minst av egenskapene til antennelseskilden. Antennelsestemperaturen vil være mye lavere ved langtids varmepåvirkning enn ved korttids varmepåvirkning. Det samme gjelder for kritisk varmestråling for antennelse.
- Ettersom papp, sagspon, flis, bomull osv., akkurat som trematerialer, er cellulosebasert materiale, er det forventet at disse materialene stort sett vil ha samme antennelsestemperaturer som trematerialer ved *langtid varmeeksponering*, nemlig ca 250 °C.

¹ Antennelsestemperaturen til et materiale er temperaturen til materialet hvor materialet avgir åpne flammer.

Pyrofore materialer

- Pyrofore (selvantennelige) materialer kan bare dannes av materialer som er i stand til å gløde, slik som celluloseprodukter (tre, tekstiler, papp og papir) og herdeplaster. Materialer som smelter kan ikke bli pyrofore. Dette medfører at termoplaster ikke er i stand til å danne pyrofore materialer.
- Den laveste rapporterte eksponeringstemperaturen som trematerialer er blitt antent ved, er 77 °C. Varmtvannsrør med overflatetemperatur på 77 °C, som gikk gjennom et etasjeskille i en bygning, medførte antennelse av en golvkonstruksjon i USA 13 år etter at bygget stod ferdig.
- Den laveste eksterne varmestrålingen som har medført antennelse (uten gnist) av tre i laboratorieforsøk er 4,3 kW/m². Antennelse av treet skjedde etter ca 5 timer med denne konstante varmepåkjeningen. I løpet av dette forsøket ble det målt temperaturer i treet som var høyere enn temperaturen på strålingskilden, noe som kan virke selvmotsigende.
- Dersom antennelse skal skje mer eller mindre umiddelbart, vil det være nødvendig med en varmestrålingsintensitet på 20-30 kW/m² uten gnist (spontanantennelse), og 12-13 kW/m² med gnist (pilotantennelse).
- Årsaken til fenomenene over er at det dannes *pyrofore* trematerialer. Dette er tre som er nedbrutt, forkullet og sprøtt på grunn av langvarig varmepåkjening fra en kilde med en temperatur lavere enn antennelsestemperaturen for tre.
- Pyrofort tre er tre som har blitt forkullet under oksygenfattige forhold, og dermed fattig på oksygen og rikt på karbon, kan begynne å oksidere, noe som medfører lokal selvoppvarming til antennelsestemperaturen, det vil si ca 250 °C.
- Det er i denne litteraturgjennomgangen ikke funnet referanser som kan dokumentere branner på grunn av dannelse av pyrofore plastmaterialer i forbindelse med varmgang.

Betingelser for dannelse av pyrofort materiale

- Dersom trematerialer blir antent på grunn av varmeeksponering for temperaturer lavere enn 250 °C, i flere måneder eller år, spiller pyrofort materiale, selvoppvarming og selvantennelse en viktig rolle. Selvoppvarmingen skyldes oksidasjon av materialet. Følgende betingelser må være tilstede for å kunne forårsake selvantennelse av tre og andre celluloseprodukter:
 - a. Eksponering av en varmekilde med temperatur lik eller over 77 °C, men under 250 °C. Hvis temperaturen er over 250 °C, defineres det normalt som direkte antennelse.
 - b. Materialet må være i stand til å kunne omdannes til pyrofort material. Dette er materialer som:
 - ikke smelter, men er i stand til å forkulle, slik at det blir sprøtt og porøst.
 - har god isolasjonsevne, noe som minimaliserer varmetapet. Dersom det ikke er snakk om andre tilstøtende materialer, med god isolasjonsevne, må det pyrofore materialet ha relativt store dimensjoner.
 - har god evne til å oksidere (reagere med oksygen)
 - er porøse og kornete eller fiberaktig (etter langvarig varmepåkjening og nedbryting), og har relativt god gjennomtrengelighet for luft, men som likevel sikrer begrenset ventilasjon i materialet, slik at varmeakkumulering oppstår.
- Ovennevnte form for dannelse av pyrofort materiale i forbindelse med lysutstyr er trolig bare aktuelt i forbindelse med pæreholderen til innfelt lysutstyr som spotlight, downlight og lysrør i isolerte vegg- og takkonstruksjoner, eventuelt med brennbar isolasjon.
- Varmepåkjening på en fri overflate, for eksempel en vegg, fra en lyspære eller annet elektrisk materiell og utstyr, vil *ikke* danne pyrofort materiale som vil kunne selvantenne.

1 INNLEDNING

1.1 Generelt

At materialer, slik som trevegger, blir pyrofore¹, er kjent fra arbeid med ildsteder etc. Overflate-temperaturer og pyrofort materiale er også ifølge Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) et viktig tema når det gjelder elektriske produkters risikoaspekter. Dette gjelder spesielt belysningsutstyr, hvor økende overflatetemperaturer er en tendens man har kunnet observere i markedet og gjennom standardiseringsarbeid.

DSB har henvendt seg til SINTEF NBL for å få mer kunnskap om hvordan elektrisk materiell og utstyr med høy overflatetemperatur, ved normal drift eller feilsituasjoner, kan antenne bygningsmaterialer. DSB vil ha gjennomført laboratorietester i løpet av 2007, for å få mer kunnskap om hvilke temperaturpåkjenninger og andre forhold som er nødvendig for å antenne forskjellige bygningsmaterialer ved langtids, lavnivå varmepåkjenning.

I første omgang vil man finne ut hva som er gjort på dette feltet i brannlitteraturen. Dette for å få mer kunnskap og bedre forståelse av problemet i forbindelse med varmgang på elektrisk materiell og utstyr, og hvilke betingelser som må være oppfylt for at slik varmgang skal resultere i antennelse av bygningsmaterialer og brann i bygningen. Dette vil også gjøre SINTEF NBL bedre rustet til å planlegge relevante forsøk.

Denne rapporten prøver å beskrive problemstillingen med varmgang på elektrisk materiell og utstyr, som kan føre til antennelse av bygningsmaterialer. Det er her snakk om temperaturer som ligger under antennelsestemperaturen for bygningsmaterialer, slik som tre og andre cellulose-baserte materialer (250-300 °C) og plastmaterialer (400-500 °C). Det blir ikke fokusert mye på årsakene til at det oppstår varmgang i elektrisk materiell og utstyr, men at varmeproduksjon kan oppstå i slike produkter, både ved normal drift og i feilsituasjoner.

1.2 Rapportens innhold

Ettersom belysning trolig er det mest aktuelle elektriske utstyret som forårsaker varmgang og dannelsen av pyrofort materiale, inneholder kapittel 2 en analyse av DSBs brannstatistikk for tiårsperioden 1995-2004. Kapittel 3 inneholder en gjennomgang av brannlitteraturen med hensyn til hvordan forskjellige typer belysning forårsaker brann.

Kapittel 4 omhandler antenneligheten til materialer generelt, avhengig av forholdene, slik som egenskapene til varmekilden og det aktuelle materialet. Her blir betingelsene for selve prosessen som fører til dannelse av pyrofore materialer og antennelse av disse materialene, beskrevet. Til slutt blir aktuelle situasjoner i forbindelse med belysning, hvor disse prosessene kan oppstå, diskutert.

¹ "Pyrofore (av pyro- og gr. "bære"), betegnelse på stoffer som er selvantennelige, f.eks. meget finfordelt jern. Pyrofort treverk, treverk som på grunn av oppvarming gjennom lengre tid er uttørret. Det kan selvantenne ved temperatur ned mot 100 °C (vanlig antennelsestemperatur er 250-300 °C). Treverk som i lang tid har ligget inntil varme gjenstander som dampkrør, murverk eller røykrør, kan bli pyrofort, og er en forholdsvis vanlig brannårsak." (Store norske leksikon, nettutgaven, Kunnskapsforlaget, 2006)

2 STATISTIKK

2.1 Generelt om brannårsaker ved varmgang fra elektrisk utstyr og materiell

Det er som nevnt innledningsvis snakk om branner på grunn av varmeproduksjon fra elektrisk utstyr, og dannelse av *pyrofort materiale*, ved normal drift eller feilsituasjoner. Det er normalt *belysning* som forårsaker slik varmgang, ved at lyspæren kommer for nært brennbart materiale. Som regel skyldes dette at personer bruker eller monterer lysutstyret for nært brennbart materiale. Det er også mange tilfeller av at lamper har falt ned i sengen, eller at arbeidslamper har veltet eller falt ned og antent brennbart materiale.

Det er i første rekke glødelamper (vanlige lyspærer og halogenpærer) som produserer tilstrekkelig varme, slik at brennbare materialer antennes, men det kan oppstå tilstrekkelig varmgang i drosselen til et lysrør. Selve lysrøret produserer vanligvis ikke tilstrekkelig varme til å kunne antenne brennbart materiale.

Enkelte pærer, slik som arbeidslamper, halogenpærer og vanlige pærer med høy wattstyrke, kan ha overflatetemperaturer som er høyere enn antennelsestemperaturen for det eksponerte materialet. I disse tilfellene er det snakk om *direkte antennelse*, og ikke varmgang og dannelse av pyrofort materiale.

Varmgang kan også oppstå i forbindelse med elektrisk feil i stikkontakter, brytere, koblingsbokser etc. En dårlig kontaktforbindelse kan oppstå i installasjonsmateriell, som medfører langvarig varmeutvikling på grunn av økt motstand eller overstrømmer. I slike situasjoner er det svært vanskelig å avgjøre om brannen skyldtes varmgang eller direkte antennelse. Slik varmeeksponeringen kan nemlig også medføre temperaturer over antennelsestemperaturen for det eksponerte materialet.

Vi vil i dette kapittelet gjennomgå DSBs brannårsaksstatistikk for perioden 1995-2004 for å undersøke omfanget av branner på grunn av belysning, og hvordan disse brannene er fordelt med hensyn til type belysning og brannårsak. Videre vil kommentarfeltet i statistikken bli gjennomgått mht om det er nevnt tilfeller hvor brannen skyldes varmgang og pyrofort materiale.

2.2 Fordelingen av branner i forskjellig belysningsutstyr

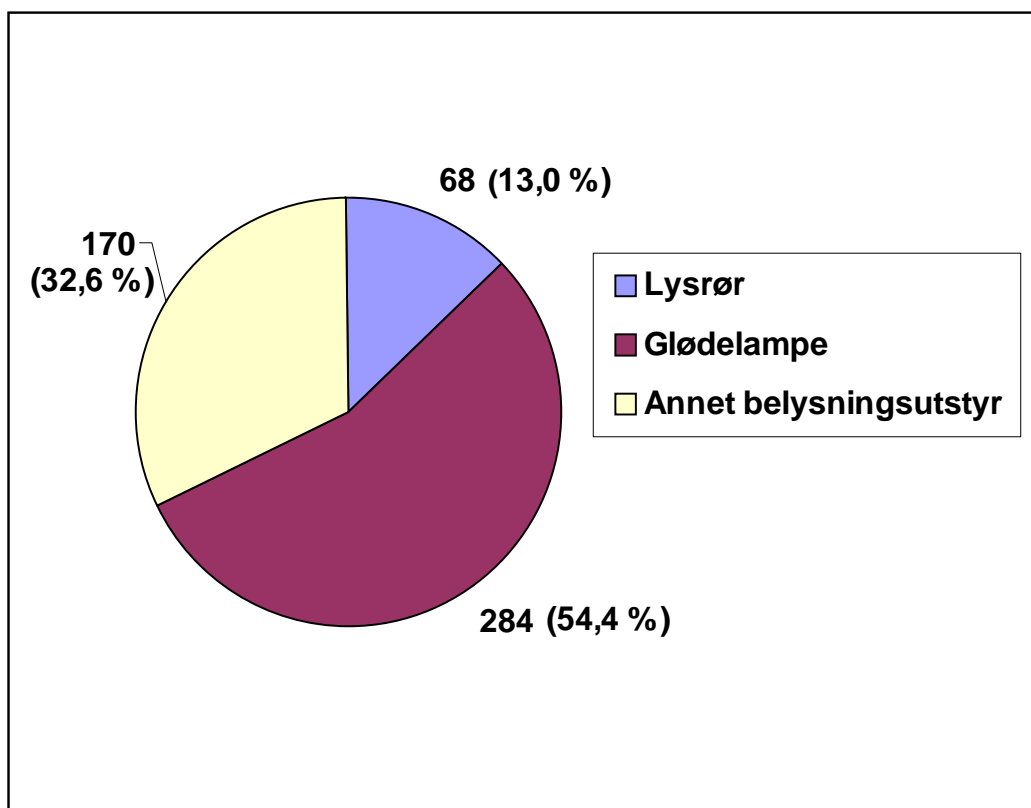
SINTEF NBL har mottatt fra DSB brannstatistikk for tiårsperioden 1995-2004 for branner i boliger med brannstart i belysning (Bjerkseth, 2006). Denne brannstatistikken er blitt analysert for å finne fordelingen med hensyn til type lysutstyr som forårsaker brann og brannårsaken til brannene.

I DSBs statistikk blir belysningsutstyr inndelt i følgende tre hovedkategorier:

- Lysrør med utstyr
- Glødelamper med utstyr
- Annet belysningsutstyr

Figur 2.1 viser utviklingen i antall branner i de tre ovennevnte kategoriene av belysningsutstyr. Det fremgår her at *glødelamper* forårsaker klart flest branner i boliger i løpet av tiårsperioden

1995-2004, med 284 branner eller 54,4 % av brannene. 68 branner (13,0 %) skyldes *lysrør* og 170 branner (32,6 %) skyldes *annet belysningsutstyr*.



Figur 2.1: Fordeling av branner på grunn av belysning etter typen belysning.

Fra kommentarfeltet i brannårsaksstatistikken fremgår det at i forbindelse med "Annet belysningsutstyr" er det her snakk spotlight, halogenlampe, downlight, arbeidslampe, adventsstake, juletrelys, sengelampe, uplight etc. De aller fleste av disse lampene er imidlertid glødelamper.

Dersom man summerer andelen glødelamper og annen belysning i figur 2.1, får man at 87 % av brannene skyldtes glødelamper. Fra kommentarfeltet i statistikken fremgår det at branner som oppstår på grunn av lysrør, skyldes varmgang eller kortslutning i reaktor/drossel. I tillegg var det mange branner på grunn av halogenpærer, arbeidslamper og uplight som stod oppført under lysrør. Følgelig skyldtes trolig over 90 % av brannene glødelamper, og mindre enn 10 % av brannene på grunn av lysutstyr skyldtes lysrør.

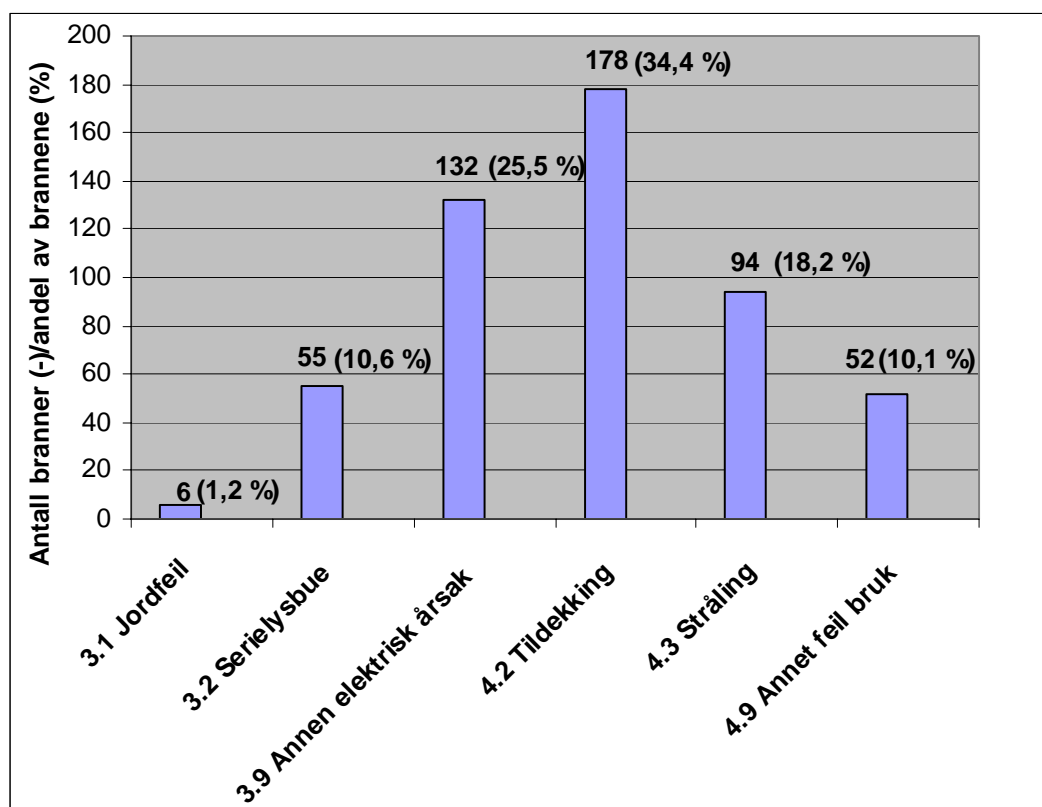
Ikke et eneste tilfelle i denne kategorien omfattet antennelse på grunn av berøring med lysrøret, bortsett fra ett tilfelle, hvor det stod "halogenlysrør". Halogenlamper er imidlertid glødelamper. Lysrør (det vil si selve glassrøret) avgir lite varme, ettersom andelen infrarød stråling er lav. Drosselen i lysrøret avgir noe varme avhengig av belastning/dimensjonering, samt ekstra varme kan oppstå ved elektriske feil.

2.3 Brannårsaker i belysningsutstyr

DSB inndeler generelt branner med elektrisk årsak i følgende årsakskoder og undergrupper:

<u>Årsakskode</u>	<u>Undergruppe</u>	
3.1	Jordfeil	
3.2	Serielysbue	
3.3	Krypstrøm ³	(Årsakskode 3.1 - 3.9 er elektrisk årsak.)
3.4	Termostatsvikt	
3.9	Annen elektrisk årsak	
<hr/>		
4.1	Overoppheting	
4.2	Tildekking	
4.3	Stråling	(Årsakskode 4.1 - 4.9 er feil bruk av elektrisk utstyr)
4.4	Dårlig vedlikehold	
4.9	Annet feil bruk	

Figur 2.2 viser hvordan brannene fordeler seg etter de ovennevnte brannårsakene for branner som "skyldes" belysningsutstyr. Man ser at de fleste brannene (178 branner eller ca 1/3 av brannene) skyldtes tildekking. Deretter følger annen elektrisk årsak, med 132 branner (25,5 % av brannene).



Figur 2.2: Brannårsaker i branner som i forbindelse med belysning (517 branner) i tiårsperioden 1995-2004. I tillegg var det tre branner som skyldtes termostatsvikt, samt en brann på grunn av overoppheting og en brann på grunn av dårlig vedlikehold. Det var totalt 522 branner som var forårsaket av belysning i tiårsperioden.

³ "Krypestrøm er elektrisk strøm som følger overflaten av et isolerende materiale. Hos organiske isolasjonsmaterialer (f.eks. enkelte plaster) kan det ved et slikt elektrisk overslag dannes et spor av forkullet materiale på overflaten. Sporet kan gi en kontinuerlig krypestrøm, eller det kan lette senere overslag." (Store norske leksikon, Kunnskapsforlaget, 2006).

DSB definerer krypestrøm på følgende måte: "Krypestrøm er strøm på ville veier. På grunn av dårlig rengjøring (støv, oljesøl etc.) blir det dannet uønskede strømbaner med oppvarming som resultat. Punktering av isolasjonen av isolasjonen på kabler kan også medføre krypestrømmer."

Det kan være interessant å finne ut hvilke årsaker som ligger under ”annen elektrisk årsak”. Dette kan man finne svar på ved å gjennomgå merknader til brannårsaken i skjemaet ”Rapport om brannårsak” i DSBs database for branner de siste ti årene (1995-2004). Her står det nevnt at kortslutning og varmgang (kortslutning i tenneren som fører til varmgang i ballasten) var den hyppigste brannårsaken for lysrør i gruppen ”annen elektrisk årsak”.

Overoppheting av lampe eller at pære eller transformator kom i kontakt med brennbart materiale var den viktigste brannårsaken i gruppen for glødelamper. Den sistnevnte årsaken kan imidlertid ikke karakteriseres som en elektrisk årsak. For annet belysningsutstyr virket det som om at varmgang/overoppheting i lampe var den viktigste brannårsaken i gruppen ”annen elektrisk årsak”.

Av figur 2.2 ser man at 94 branner (18,2 % av brannene) skyldtes stråling⁴, det vil si varmestråling fra for eksempel pæren forårsaket antennelse av brennbart materiale i nærheten, men materialet var ikke i direkte kontakt med pæren. Det er ikke mulig på grunnlag av merknadene til brannårsaken å konkludere med hvilke branner som skyldtes varmgang og dannelse av pyrofort materiale. Pyrofort materiale ble ikke nevnt i et eneste tilfelle i statistikken for branner i elektrisk utstyr, materiell og belysning.

I de tre største gruppene i figur 2.2, som utgjorde ca to-tredeler av brannene, kan det være branner som kan ha sin årsak i dannelse av pyrofort materiale. Det er nemlig svært vanskelig å avgjøre om en brann har startet på grunn av dannelse av pyrofort materiale. Dette er primært branner som skyldes stråling, tildekking og branner med annen elektrisk årsak, som skyldes overoppheting.

Ved gjennomgang av kommentarene i kommentarfeltet i DSBs brannårsaksstatistikk for disse brannene, er det imidlertid lite som tyder på at brannen skyldtes varmgang og pyrofort materiale. I bare ca 10 av 522 tilfeller nevnes det at det har oppstått varmgang. Varmgang nevnes hyppigst i forbindelse med drossel til *lysrør* i taket eller i forbindelse med takmontert downlight. Det må her bemerkes at en del branner ikke hadde kommentarer i det hele tatt.

2.4 Statistikk vedrørende brann på grunn av belysning fra USA

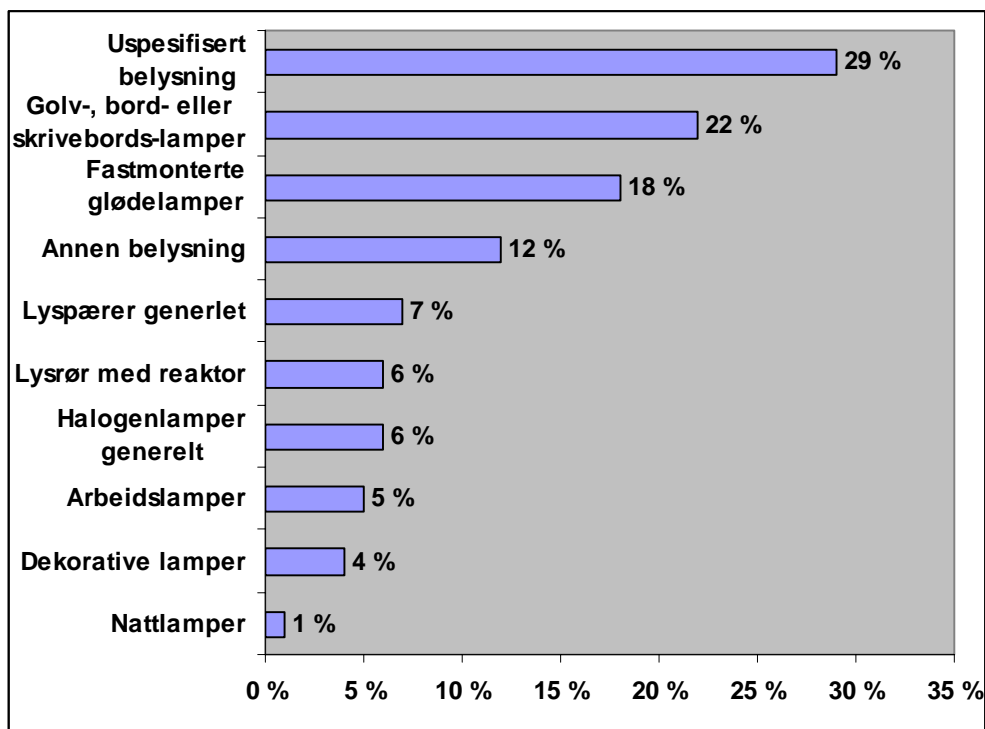
2.4.1 Belysning

NFPA (National Fire Protection Association) har samlet inn statistiske data for femårsperioden 1999-2003 for branner forårsaket av belysning i USA. Belysning generelt førte til gjennomsnittlig til ca 5300 branner pr år i boliger i denne perioden. Disse brannene forårsaket i gjennomsnitt 37 døde og 187 skadete personer, samt \$86,9 millioner, eller nærmere ca 600 millioner 2006 kroner pr år i materielle skader (tallene er justert for inflasjon). Belysning utgjorde 28 % av brannene i det elektrisk fordelingssystemet i boliger og 29 % av de omkomne i disse brannene.

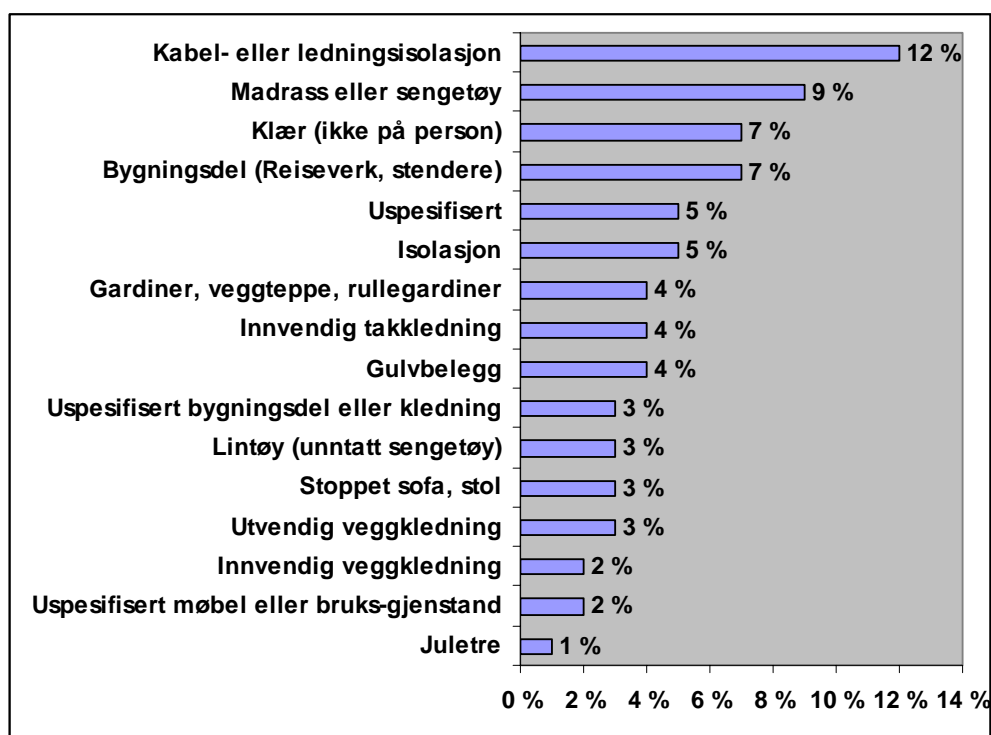
Fra figur 2.3 fremgår det at 29 % av brannene skyldtes uspesifisert belysningsutstyr. Golv-, bord- eller skrivebordslamper utgjorde 22 % og fastmonterte glødelamper 18 % av disse brannene. Lyspærer generelt, halogenpærer, lysrør og arbeidslamper var årsaken til henholdsvis 7, 6, 6 og 5 % av brannene. Antall branner pr år i boliger som følge av belysning ble redusert med 34 % fra 1990 til 1998 (fra 11600 til 7600 branner), mens antall døde har vist en betydelig variasjon fra år

⁴ DSB definerer brannårsaken stråling som ”...brann som skyldes stråling ved bruk av elektriske apparater. Stråling kan for eksempel skje når man glemmer å slå av kokeplater etter å ha tatt bort kjeler, panner, gryter etc, eller når varme fra ovner antenner gjenstander direkte, uten at disse er i berøring med ovnen”

til år. Figur 2.4 viser hvilke faktorer som førte til antennelse i brannene som skyldtes belysning. I en tredel av brannene skjedde på grunn av at lampen var for nær brennbart materiale. Figur 1.7 viser at elektrisk kabel- eller ledningsisolasjon var det første brennbart materiale som ble antent, med 12 % av brannene. Deretter følger madrass eller sengetøy (9 %), bygningsdel (7 %) og løse klær (7 %). Omtrent en fjerdedel av de omkomne omkom i branner hvor madrass eller sengetøy var det først antente materialet.



Figur 2.3: Fordelingen av brannene på grunn av belysning med hensyn til hvilken type belysning som forårsaket brannene (Twomey, 2006).



Figur 2.4: Fordelingen av brannene på grunn av belysning med hensyn til det objekt som først ble antent i brannen (Twomey, 2006).

3 BRANN PÅ GRUNN AV FORSKJELLIGE TYPER LYSUTSTYR

3.1 Forskjellige typer lysutstyr

Følgende to grunnleggende forskjellige typer lysutstyr eksisterer på markedet i dag:

- *Glødelamper*
 - a. Vanlige glødelamper eller lyspærer
 - b. Halogenpærer
- *Lysrør eller luminescenslys*
 - a. Lavintensitets lysrør
 - b. Høyintensitets lysrør

3.2 Glødelampe

3.2.1 Generelt om glødelamper

Glødelamper, som baserer seg på motstandsoppvarming, er en fellesbetegnelse for elektriske lyskilder hvor lyset kommer fra en glødende, tynn tråd som varmes opp ved elektrisk strøm. Slike lamper avgir betydelig infrarød stråling i tillegg til lys. Dermed kan pæren ofte bli temmelig varm. Lyspæren består av en glasskolbe som er fylt med en gassblanding som motvirker at glødetråden oksiderer/fordamper, vanligvis argon og nitrogen. I små lamper der effekt er viktigere enn pris, brukes krypton i stedet for argon. Glødetråden er av wolfram, som når lampen er tent, har en temperatur på omkring 2500 °C. For å minske varmeavledningen til gassen er tråden spiralisert eller dobbeltspiralisert (Store norske leksikon, 2006).

Halogenpære er en spesiell type glødetrådslyspære. Kolben er av kvarts eller hardt glass, og gassfyllingen er tilsatt et halogen, oftest jod eller brom, som gjør at løsrevne wolframpartikler fra glødetråden fanges opp i gassblandingen og føres tilbake til tråden. Glødetråden kan dermed ha høyere temperatur enn en vanlig lyspære (2700-3100 °C). Halogenpærer gir høyere lysstyrke, hvitere lys og har en levetid på ca. 2000-4000 timer. Pga. glødetrådens høye temperatur avgir slike pærer noe UV-stråling. De utføres derfor ofte med filter og beskyttelsesglass. Halogenpærer finnes både for lave spenninger (12 V) og 230 volt spenning (Store norske leksikon, 2006).

3.2.2 Brann på grunn av vanlige glødelamper

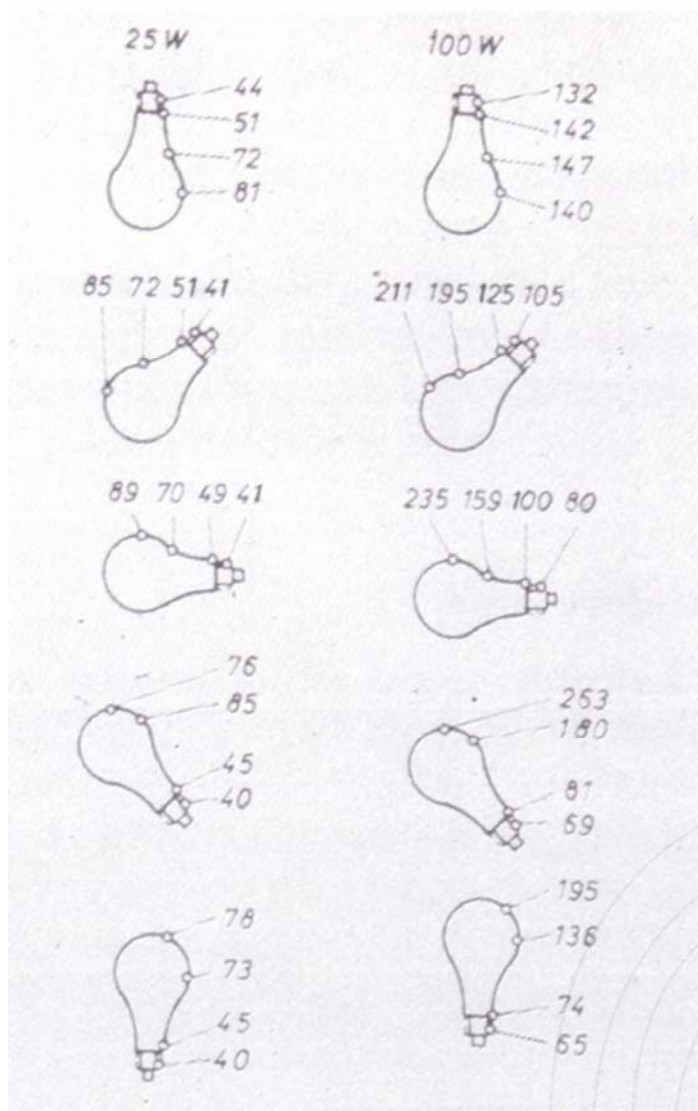
Glødelampens evne til å forårsake brann

Vanlige glødelamper er kjent for, under visse omstendigheter, å kunne forårsake brann på grunn av at pæren er i nærheten av eller i direkte kontakt med brennbart materiale. Oppvarmingen av materialet skjer på to måter: Oppvarming ved varmeledning dersom materialet er i direkte kontakt med pæren, samt ved varmestråling. Dersom lampen ikke er i direkte kontakt med materialet, vil det ikke skje noen varmeoverføring ved varmeledning, men hovedsakelig ved varmestråling.

Konvektiv varmeoverføring skjer primært ved avkjøling av pæren, og spiller bare en begrenset rolle i forbindelse med varmeoverføring til og antennelse av materialet. Med unntak av pærer med meget høy effekt og som gir betydelig strålevarme, vil antennelse av et brennbart materiale kun skje dersom pæren kommer i direkte kontakt med det brennbare materialet.

95 % av energien som tilføres en lyspære går over i varme. Derfor er kontakt mellom lyspærer og brennbart materiale en meget vanlig brannårsak.

Flere kilder angir temperaturer målt på flere steder på lyspærer av forskjellig effekt, men disse er, som vist i figur 3.1, alltid målt på en lyspære i *fri luft*, uten å være i kontakt med et materiale. Så snart et fast materiale kommer i kontakt med en tent lyspære, vil varmebalansen for pæren raskt endre seg. I kontaktpunktet mellom lyspæren og det faste materialet opphører varmetapet ved stråling og konveksjon. Ved å sammenligne de fleste tabulerte verdiene for målt maksimaltemperatur på pærens overflate i det fri, med antennelsestemperaturen for faste materialer, kan man konkludere med at det neppe finnes noe brennbart materiale som kan bli antent av en glødelampe (jf. tabell 3.1). Man vet imidlertid at dette ikke er riktig.



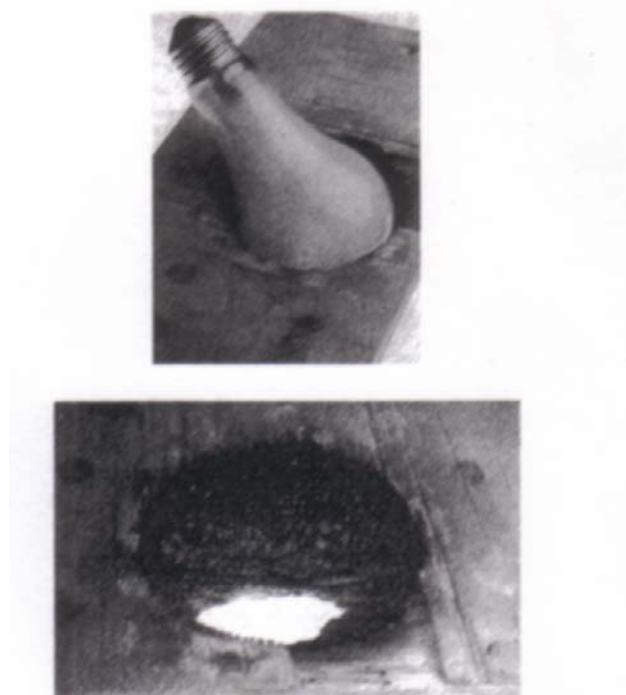
Figur 3.1: Målte overflatetemperaturer på glødelampepærer av forskjellig wattstyrke og orienteringer av pæren. Temperaturene for en 25 og 100 W lyspære vil variere i områdene henholdsvis 40-89 °C og 65-253 °C (NBF, 1988).

I tabell 3.1 er det listet opp noen maksimaltemperaturer målt på overflaten av forskjellige glødelamper i fri luft med varierende effektstyrke. Målingene ble utført ved ett og samme laboratorium. Disse temperaturene er, som det fremgår av tabellen, relativt lave, stort sett lavere enn antennelsestemperaturen for de fleste bygningmaterialer gitt i tabell 3.2.

Tabell 3.1: Maksimaltemperaturer målt på overflaten av forskjellige glødelamper i fri luft med varierende effektstyrke (Babrauskas, 2003).

Type lyspære	Maks. temperatur (°C)	Lokalisering av maksimaltemperatur
200 W klart glass	237	Oversiden, nedover rettet lampe
150 W klart glass	208	Oversiden, oppover rettet lampe
100 W matt glass	193	Oversiden, oppover rettet lampe
75 W matt glass	168	Oversiden, nedover rettet lampe
60 W matt glass	145	Oversiden, nedover rettet lampe
40 W matt glass	121	Oversiden, oppover rettet lampe
250 W reflektorlampe	304	Oversiden, nedover rettet lampe
75 W reflektorlampe	213	Oversiden, oppover rettet lampe
50 W reflektorlampe	196	Oversiden, oppover rettet lampe

Lyspærer er kjent for å forårsake brann dersom de kommer i kontakt med for eksempel en håndduk, sengeklær osv. Glødelamper med styrke på 50 W eller mer har også forårsaket branner, i tilfeller hvor pæren ble lagt ned i cellulosebasert isolasjon til loft. Det er til og med blitt dokumentert at en 75 W lyspære har greidd å forkulle seg gjennom en golvkonstruksjon av kryssfiner (se figur 3.1). Dersom pæren hadde vært i kontakt lettere brennbare materialer, ville det sannsynligvis ha skjedd antennelse med flammer.



Figur 3.2: Forkulling av et sponplategolv forårsaket av en 75 W lyspære (Babrauskas, 2003).

Temperaturene i tabellen over kan virke lave ettersom det er rapportert om maksimumstemperaturer på 253 °C for en 100 W lyspære (jf figur 3.1). Temperaturen i pæreholderen er normalt vesentlig lavere enn på selve pæren. Det er for eksempel målt 100 °C i pæreholderen til en 100 W pære, mens 89 °C er blitt målt for en 25 W pære. Det ble rapportert om at noe dekorasjonsmateriale likevel ble antent av en slik pære (Freytag, 1965).

Dersom pæren knuser, vil det oppstå en helt annen situasjon. Glødetråden er ikke laget for høytemperatur oksidering som oppstår i luft. Glødetråden oksideres raskt og temperaturen øker. Glødetråden vil gløde i meget kort tid, før den brenner ut. En glødetråd eksponert for luft vil

derfor lede strøm bare en kort stund, etter at glasset er knust. Hvis en tent lampe faller ned på et lett antennelig materiale, for eksempel bensinsøl, har det vist seg at glødetråden på spesielle lampetyper rakk å antenne bensinsølet før glødetråden brant ut. I disse tilfellene tok det ekstra lang tid før glødetråden brant ut.

Lysarmatur til glødelamper

I USA var det vanlig å ha uisolerte loft inntil energikrisen på 1970-tallet. Det var også vanlig å benytte forsenkede taklys i bolighus. Energikrisen tvang imidlertid mange huseiere til å isolere loftene. Ofte ble billige cellulosebaserte og brennbare isolasjonsmaterialer benyttet. Armaturene bestod ofte av bare en slags blikkboks. Antennelse av brennbar isolasjon begynte å skje stadig oftere. For å unngå dette ble følgende tre løsninger foreslått:

1. Lage et luftrom rundt armaturen
2. Lage en dobbelvegget armatur
3. Lage en termostat på armaturen.

Løsning 1 er relativt arbeidsintensiv, men den kan være effektiv. Løsning 2 og 3 er blitt innarbeidet i UL 1571-standard, hvor generelle bestemmelser for såkalte "IC"-armaturer er gitt. Dette er armaturer som er testet og funnet sikker for bruk i forbindelse med isolerte tak. For å unngå direkte antennelse av trebjelker, kreves det enten at armaturene har en avstand på 13 mm til slike trebjelker, eller at temperaturen i armaturen ikke skal overstige 90 °C. Det eksisterer imidlertid på markedet i USA lysarmaturer som ikke er IC-klassifisert (Babrauskas 2003).

Faren for antennelse øker dersom det benyttes pærer med større effekt enn det armaturen er klassifisert for. Faren for antennelse er mye lavere for forsenkede lysarmaturer dersom *reflektorpærer* ble benyttet. Dette er ikke overraskende, ettersom reflektoren medfører at varmetilførselen oppover blir svært liten, det vil si der hvor antennelsesfaren er størst.

3.2.3 Halogenpærer

Halogenlampen ble oppfunnet så tidlig som i 1882, men den første halogenlampen kom på markedet i USA først 100 år etter, det vil si i 1983. Halogenlamper bruker akkurat som glødelamper en tråd av wolfram. Men forskjellen mellom disse to pæretypene er følgende:

1. Det er halogen i pæren
2. Glasset er laget av smeltet quartz-glass

I en statistisk studie av Consumer Product Safety Commission (CPSC) i USA (Long, 1997) ble 277 ulykker notert i løpet av perioden 1992-1997 med halogenpærer, med følgende fordeling med hensyn til sammenbrudd av pæren:

• Brann på grunn av antennelse av objekter like i nærheten:	29 %
• Brann på grunn av at pæren eksploderte:	19 "
• Brann på grunn av kortslutting:	15 "
• Brann på grunn av at lampen veltet:	12 "
• Brann:	11 "
• Pæren eksploderte, men ingen brann:	3 "
• Sjokk og brannså:	4 "
• Annet:	<u>7 "</u>
Sum:	<u>100 %</u>

Vesentlig høyere temperaturer oppnås på halogenpærer. I laboratoriet er det blitt målt 611 °C for 500 W fastmontert lampe med halogenpære, 585 °C for en 300 W pære og 602 °C for en 250 W pære. CPSC konkluderte på grunnlag av tester med frottéstoff og osteklede ("cheese cloth"), plassert på toppen eller i nærheten av lampen, at de fleste brennbare materialer som kom i kontakt med pæren ville antenne. Det ble målt en temperatur på 630 °C på overflaten av en 300 W halogenpære og 421 °C på den temperaturbestandige glasskjermen over pæren.

I forbindelse med en 300 W halogenlampe fastmontert 229 mm inne i vegg og tak, dekket med papp/kartong, oppnådde man en maksimaltemperatur på veggen på 88 °C. Maksimaltemperaturen i taket ble imidlertid bare 70 °C. Ingen sviskader oppstod. I minst ett tilfelle vet man at en halogenlampe montert under et tak dekket med kryssfiner, forårsaket en husbrann. Tester i etterkant av brannen har vist at det sannsynligvis var montert en 500 W halogenpære i lysarmaturen, som var 10 cm fra taket.

Halogenpærer kan også eksplodere og dermed fungere som en antenneskilde. Sengeklær har antent i det en halogenlampe eksploderte, slik at varme glassbiter fra den eksploderte halogenpæren falt ned på sengen. Ved et annet tilfelle antente de varme glassbitene et teppe, idet en halogenlampe eksploderte. Forsøk med papirremser i kontakt med halogenpæren har vist at forkulling av papiret begynte etter 2 minutter. Papiret ble ikke antent i alle forsøkene. I noen forsøk ble papiret bare forkullet.

CPSCs statistiske undersøkelser av ulykkeshendelser med halogenpærer resulterte i en rekke forandringer i forskriftene for bruk og salg av slike pærer, samt lamper med slike pærer. De viktigste forandringene var at 500 W halogenpærer ble forbudt. Den maksimale tillatte effekt på halogenpærer ble satt til 300 W. En mekanisk skjerm ble også påbudt på alle halogenlamper, som skulle sørge for at et brennbart materiale ikke kom direkte i kontakt med halogenpæren (Long, 1997).

Stålamper som kaster lyset opp mot taket, såkalte "uplights", er populære. Disse stålampene har ofte halogenpærer på 300 - 600 watt. Ved siden av å ha høyt strømforbruk, kan uplight-lamper ha en temperatur opp mot 500 °C, og de kan være svært brannfarlige.

I en artikkel i Dagbladet av 18.08.2004 påpekes det at halogenlamper kan bli ekstremt varme. Det nevnes for eksempel at en halogen skrivebordslampe fra IKEA ("Espresso") kan være brannfarlig, og at de fleste halogenlamper blir ekstremt varme sammenlignet med vanlige lamper. Stålamper av uplight-typen med kraftige halogenpærer blir omtalt som ekstremt brannfarlige. Målinger som CPSC (Ault, 1998) i USA har foretatt, viste følgende overflatetemperaturer på halogenpærer, avhengig av lampens effekt i watt:

<u>Effekt (W)</u>	<u>Halogenpærens overflatetemperatur (°C)</u>
75	127
150	171
300	520
500	650

Fra 1. januar 1990 til 30. mars 1998 fikk CPSC 260 rapporter om hendelser med stålamper av typen "uplights". Av disse var 232 (90 %) brannrelaterte hendelser. Som det fremgår av tabell 3.2 under, var det mest vanlige scenariet utilsiktet kontakt mellom halogenlampen og et brennbart materiale, noe som førte til i alt 89 branner. De mest vanlige materialene som ble antent var gardiner (31), sengeklær (15), panel i tak eller vegg (10), klær (6), papir (10) og annet brennbart materiale, slik som leker, håndkle, golvteppe og hengende kunstige planter. I fem branner ble det ikke rapportert om hvilke materiale som ble antent (Ault, 1998).

Det er ikke rapportert om antennelsen skyldtes pyrofort materiale eller ikke, men det er åpenbart at brann på grunn av eksplosjon av pære, kortsutning og velting av lampe *ikke* skyldtes pyrofort materiale. De aller fleste tilfeller skyldtes etter all sannsynlighet direkte antennelse (i motsetning til selvantennelse på grunn av pyrofore materialer), på grunn av at eksponeringstemperaturen var over antennelsestemperaturen til materialet.

Tabell 3.2: Farescenarier som følge av hendelser med halogenpærer i USA i perioden 1. januar 1992 – 30. mars 1998 (Ault, 1998).

Fare	Antall rapporterte hendelser			Totalt
	Uplight	Halogenpære (ikke spesifisert)	Høyintensitets pære	
Brann i forbindelse med tilstøtende brennbare materialer:	89	43	6	138
Brann pga eksplosjon av pære:	52	10	1	63
Brann pga kortslutning:	42	13	3	58
Brann pga velting av lampe:	30	13	1	44
Brann (ikke spesifisert hvorfor):	19	23	3	45
Ikke brann (eksplosjon av pære):	9	5	0	14
Sjokk/Brannsårl:	2	9	1	12
Annet:	17	9	4	30
Totalt:	260	125	19	404

Den nest største faren i forbindelse med halogenpærer var at pæren *eksploberte*, slik at varme glasspartikler ble slynget ut i rommet. Dette kunne medføre at brennbare materialer ble antent (52 branner på grunn av uplight). Branner som skyldtes *kortslutning* i lampen, 42 branner i uplights, var den tredje mest vanlige hendelsen. Andre farer inkluderte at lampen ble veltet, slik at den antente brennbare materialer, som klær, sengeklær, sofa og gardiner (30 branner). I 9 tilfeller eksploberte pæren, uten at det oppstod brann.

Som det fremgår av tabellen over var det 19 hendelser med høyintensitetspærer, hvorav 14 hendelser resulterte i brann. Videre var det 125 tilfeller hvor typen halogenpære ikke var spesifisert. Disse tilfellene kan, ifølge CPSC være både uplights og andre type halogenlamper, som for eksempel skrivebordslamper og andre arbeidslamper. Til sammen blir det altså 404 tilfeller, hvorav 348 av tilfellene (86 %) førte til brann.

Tabell 3.3 viser at blant de 232 brannrelaterte hendelsene med uplights, omkom 12 personer, hvorav 10 var barn, og det var 84 personskader. I tillegg var det seks døde og 15 personskader med uspesifiserte halogenpærer, samt to døde og tre personskader i forbindelse med høyintensitetspærer. Til sammen omkom ifølge CPSC (Ault, 1998) 20 personer på grunn av branner i halogenlamper i USA i løpet av vel 7 år. I alt 102 personer fikk skader som følge av brannene.

Tabell 3.3: Antall døde og antall personskader som følge av hendelser med halogenpærer i USA i perioden 1. januar 1992 – 30. mars 1998 (Ault, 1998).

Lampetype	Antall døde	Antall personskader
Uplights	12	84
Halogenpære (ikke spesifisert)	6	15
Høyintensitetspære	2	3
Totalt:	20	102

Dagbladet av 18.08.2004 beskriver at CSPC har testet ulike materialer med hensyn til hvor raskt de tok fyr ved kontakt med en 300 W halogenpære:

- Et stykke papp tok fyr i løpet av 17 sekunder.
- Et papirfly gikk opp i flammer etter 56 sekunder.
- En T-skjorte (to lag, 80 % polyester og 20 % bomull) ble brent gjennom på 24 sekunder.
- En vedbit av furu tok fyr etter 1 minutt og 43 sekunder.

3.2.4 Downlights

Det er blitt stadig mer vanlig med 12 V halogenlamper, spesielt lavvolts halogen downlights for innbygging. Disse lampene kan representere en stor brannrisiko. Pærer til downlights finnes i en rekke varianter. Forskjellene gjelder både rene lysmessige forhold, som for eksempel spredningsvinkel på lyset og hvordan varmen fra pærene ledes vekk. Når man skal skifte en slik pære, er det svært viktig at man kjøper riktig type. Dersom en "kald" pære⁵ som kaster varme inn i sokkelen, benyttes i stedet for en "varm" pære¹, kan temperaturen i den innebygde lysarmaturen bli så høy (godt over 100 °C) at pyrofort materiale lett kan dannes, med senere antennelse og brann, trolig på grunn av dannelse av pyrofort materiale.

Dersom man samtidig ikke overholder minstemål og innkassing rundt lampen, kan faren for brann bli meget stor. Alle downlight (12V og 230V) har krav til minsteavstand til omliggende bygningsdeler – tydelig spesifisert i standarden og eventuelt gjengitt i monteringsanvisningen. I himlinger med isolasjon er det spesifikke krav til størrelsen på luftrommet rundt lampen og dette skal innkasses mot isolasjonen. Noen bruker "hønsenetting" for å holde isolasjonen unna der det er vanskelig å komme til. Downlights er typisk merket med minimum 30 eller 50 cm fri avstand i stråleretningen.

3.2.5 Spotlights

Spotlights er kunstlyskilde som gir et lysknippe med spredningsvinkel mindre enn ca. 20° og brukes som effektbelysning. Det er ikke likegyldig hva slags pære man bruker i spotlights. Mange spotlights er beregnet på reflektorpærer. Bruker man vanlige pærer i slike spotlights, kan resultatet bli som på spoten til venstre. Som det fremgår av bildet til høyre i figur 3.1, slippes lyset fra en reflektorpære ut kun i "fronten" av pæra. Resten av pæra er forsynt med reflektor. Reflektoren gjør at lyset blir konsentrert, samtidig som varmen kastes i samme retning.



Figur 3.1: Bildet til venstre viser et spotlight beregnet for reflektorpære. De termiske skadene skyldes at en vanlig pære ble brukt i stedet for en reflektorpære.

⁵ "Kald pære" – kaldtlyspære – cool beam – dichroic reflector lamp. Lampeholder GU 4, GU 5,3 (12 V) og GU 10 (230 V). "Varm pære" – varmtlyspære ALU (ALU-TEC) – aluminised reflector lamp. Lampeholder GU 4, GU 5,3 (12 V) og GU 10.

Brann i kongeparets stue

Ingen kom til skade da det brøt ut brann i en sofa i dagligstuen på Skaugum i 20.03.2001. En halogenpære var årsaken til brannen. Brannen var allerede slukket da Brannvesenet kom til stedet. Brannen ble ifølge NTB forårsaket av at en leselampe med halogenpære veltet over en sofa, slik at sofaen tok fyr (Dagbladet 20.03.2001).

3.2.6 Juletrelys

Juletrelys er lavenergipærer, med lysene arrangert i to eller tre ledninger i parallell, hvor hver ledning består av inntil 50 lys i serie. Strømmen som trekkes av for eksempel 100 lys er 0,3 – 0,4 A. Hvert lys har en spenning på 4,6 V og et strømforbruk på 0,4 W. Til tross for dette beskjedne strømforbruket og effektavgivelsen, viser brannstatistikken fra DSB at juletrelys likevel forårsaker mange branner.

Det har vist seg vanskelig å produsere miniatyrlys som er brannsikre, men det gjøres stadig forbedringer. For eksempel har glødetrådets utforming blitt endret slik at den ikke skal komme i kontakt med pæreglasset. Dermed ble det forhindre at et spesielt varmt punkt på pæren oppstod. Selve sokkelen er også blitt endret, ved blant annet å gjøre den større, dypere og ved bruk av ribber.

Den mest sannsynlige antennelseskilden er en seriefeil. En feil av denne type medfører at strømmen heller avtar enn at den øker. Dermed vil en smeltesikring ikke ha noen virkning. Selv så lite energitap som 1,25 W i en motstand kan antenne papir fra en notisbok, og 2,2 W tapt i en lignende motstand kan antenne selve lyspæreholderen (Babrauskas, 2003). Minst 8 branner har startet i juletre som følge av juletrebelysning på grunn av elektrisk feil eller varmgang fra pære. Branner i juletrelys skyldes neppe pyrofort materiale, med utelukkende direkte antennelse.

3.3 Lysrør

3.3.1 Generelt om lysrør

Til belysning har *lysrør* vært i bruk siden slutten av 1930-årene. Lysrør, tidligere ofte kalt lysstoffrør, er gassutladningsrør som brukes for belysning. For å starte utladningen i røret, må man ha en elektronstrøm som sendes ut fra en katode. I vanlige lysrør som drives med vekselstrøm og hvor strømmen går begge veier, brukes to katoder, som regel glødekatoder. Lysrør har en tenner som kortslutter røret i oppstarten, slik at katodene blir varme på grunn av strømgjennomgangen. Når katodene er varme nok, åpner tenneren, og det slår over fra en katode til den andre. Ballasten begrenser strømmen, slik at katodene ikke skal brenne opp.

Dersom oppvarmingen er utilstrekkelig eller gassblandingen i røret feil, slokker det igjen med det samme, og starteren trer i funksjon på ny. Er lampen defekt, vil dette gjenta seg slik at den blir stående og blinke. Når utladningen er kommet i gang, er den indre motstanden i lampen meget liten..

Det er verdt å merke seg at lysrør ikke avgir mye varme, ettersom de avgir lite infrarød stråling, men at det kan dannes betydelig varme i drosselen som står i serie med lysrøret. Lysrør har dermed en forholdsvis kald overflate

3.3.2 Branner på grunn av lysrør

Tabell 3.4 viser resultatet av en Britisk studie (1973) med hensyn til årsakene til branner på grunn av lysrør. Det fremgår av tabellen at hovedkomponenten i lysrør som forårsaker brann, er lysrørets drossel. Tenneren øker spenningen så mye at den forårsaker en elektrisk utladning i lysrøret. Den vanligste feilen i en slik drossel er en kortslutning i drosselens induksjonsspole. Antennelse skjer spesielt i forbindelse med tak av brennbare materialer, og det skjer lettest dersom drosselen er plassert direkte på metall, som igjen er montert på et brennbart materiale, som for eksempel et tretak.

Tabell 3.4: Resultater fra en Britisk studie (1973) med hensyn til brannårsakene i lysrør.

Årsak	Andel (%)
Drossel	53
Ledning	15
Lysrør (overopphetet eller i kontakt med brennbart materiale)	8
Transformator	8
Starter	7
Armatyr, komponent:	7
Kondensator	2

Lysrøret kan ifølge Babrauskas (2003) ese ut og briste på grunn av følgende faktorer:

- Når lysrøret ikke tenner vil vanlige startere prøve å tenne defekte lysrør om og om igjen. I tillegg til at dette er irriterende, vil strømforbruket øke og drosselen blir varm. Drosselen vil før eller senere smelte, og i mange tilfeller føre til brann.
- Armatyrer med feilaktig utførte reflektorer som forandrer retningen slik at energien treffer direkte på det innvendige lysrøret.
- Uheldig posisjonering av lysrøret slik at det lyser i feil retning.

Dersom det ytre glasset til en høyintensitets lysrør blir knust, kan det fortsette å fungere i flere uker og endog i flere år. I løpet av denne perioden kan ifølge Babrauskas (2003) lysrøret produsere farlig ultrafiolett stråling, og lysrøret kan representere en tennkilde for brennbare konsentrasjoner av støv eller gass i luften.

Ettersom en kollaps i et høyintensitets lysrør kan slynge ut materialer med temperatur opp til 1200 °C, er det en viss risiko for antennelse, dersom det ikke er en ikke brennbar skjerm under lysrøret som kan samle opp dette materialet. I løpet av 1990-årene har forsikringsselskapet FM Global i USA registrert 29 branner, som har hatt sin årsak i høyintensitet lysrør. Av disse tilfellene, var det 14 tilfeller med metallhalogenlysør, 12 kvikksølvlysør og 3 natriumlysør.

Fordi natrium sammen med vann og luft er selvantennende, kan knusing av et lavtrykks natrium lysør, som ikke er tilknyttet strøm, føre til antennelse av en natrium-/luftblanding. Dette fordi enkelte lysør inneholder som mye som 1 g natrium. Lysør som inneholdt bare 8 mg natrium, hadde imidlertid ingen tendens til å antenne en natrium-/luftblanding.

Selv om temperaturen på lysør i vanlig drift er beskjeden, behøver dette ikke å være tilfelle dersom lysstoffør blir brukt på en uforsiktig måte, for eksempel ved å dekke det til med brennbart materiale. En japansk studie har dokumentert at en temperatur på 300 °C kan oppnås ved å benytte en 27 W lysstoffør som ble tildekket av sengeklær. Dette stemte overens med et branntilfelle som skjedde under disse betingelsene (Shinomiya, 1998)

3.4 Konkluderende bemerkninger vedrørende brannfaren ved belysning

Av gjennomgangen av branntilfeller i DSBs brannstatistikk (kapittel 2) og i dette kapittelet, der belysning har forårsaket brann, kan man konkludere med at antennelse som regel skyldes direkte antennelse, på grunn av at pæren har en overflatetemperatur høyere enn antennelsestemperaturen til materialet.

SINTEF NBL har i løpet av gjennomgangen av statistikk og brannlitteraturen ikke kommet over rapporterte tilfeller, hvor varmgang fra lyskilden har forårsaket dannelse av pyrofort materiale og etterfølgende antennelse av materialet. Dette kan imidlertid også skyldes at slike brannårsaker er vanskelige å forstå, og de får dermed feilaktig en annen eller ukjent årsak.

Figur 3.2 og 3.3 viser feil i en kondensator til et lysrør og feil i en sparepære.



Figur 3.2: Feil i kondensator til lysrør.



Figur 3.3: Feil i sparepære.

4 BRENNBARE MATERIALERS ANTENNELIGHET

4.1 Generelt

Aktuelle materialer som kan bli antent på grunn av varmgang fra elektrisk utstyr og materiell er i første rekke cellulosematerialer i bygningskonstruksjonen (tre og papp) og inventar (tekstiler og papir), samt plastprodukter. Bortsett fra en referanse som omtaler selvoppvarming av plast i enkelte spesielle situasjoner (Babrauskas, 2003), har det ikke lyktes å komme over dokumentasjon som beskriver fenomenet pyrofort plast.

Det faktum at for eksempel PVC-isolasjon vil lett brytes ned og miste mange av sine bestanddeler ved avdamping, og blir dermed vesentlig lettere antennbar, er et kjent fenomen, men det er usikkert om det er snakk om et materiale som kan bli pyrofort. Fenomenet med nedbryting av PVC-isolasjon er diskutert i SINTEF NBL-rapport "Brann på grunn av elektrisk installasjonsmateriell" (Stensaas, 2006). Dette avsnittet vil derfor kun behandle cellulosematerialer med hensyn til i hvilken grad slike materialer kan danne pyrofort materiale på grunn av varmgang fra elektrisk materiell og utstyr.

4.2 Antennelse

For at direkte eller ekstern antennelse av et materiale skal kunne finne sted, må det få tilført tilstrekkelig varme til at materialet oppnår antennelsestemperaturen. Ekstern antennelse av bygningsmaterialer inkluderer en eller flere av følgende varmeoverføringsmekanismer:

- Varmeledning
- Konveksjon
- Varmestråling

Varmetilførsel ved *stråling* blir ansett for å være viktigst, særlig ved høye temperaturer på strålingskilden, slik som i flammer eller i røykgasssjiktet i en fullt utviklet rombrann. Varmeoverføring ved *varmeledning* kan imidlertid være den viktigste mekanismen når en tennkilde kommer i direkte kontakt med et materiale. Dette er også den mest aktuelle varmeoverføringsmekanismen ved overheting og varmgang i elektrisk materiell og utstyr, som kan føre til antennelse av bygningsmaterialer og inventar i boliger.

I tilfeller hvor varmgang forårsaker svært høye temperaturer, kan også *varmestråling* være viktig, og kan medføre antennelse uten at objektet er i direkte kontakt med materialet. *Konveksjon* har derimot nesten bestandig minimal betydning for varmetilførselen i slike situasjoner, men har relativt stor betydning for varmetapet fra varmepåkjente materialet. Dersom den *konvektive avkjølingen* av materialet blir hindret, kan temperaturen stige raskt, slik at antennelse av materialet kan skje innen kort tid. Tildekking av gjennomstrømningsovner er eksempel på dette.

4.3 Antennelsesmekanismer

Vi skiller her mellom følgende måter for antennelse:

- *Pilotantennelse*
- *Spontanantennelse*

Ved *pilotantennelse* antenner materialet ved hjelp av en gnist eller en liten flamme, mens ved *spontanantennelse* skjer antennelsen av materialet på grunn av at temperaturen i materialet har nådd *spontanantennelsestemperaturen* (engelsk: "Auto Ignition Temperature") for materialet. Ved spontanantennelse skjer altså antennelsen av materialet uten flamme eller gnist, men på grunn av en betydelig ytre varmeoverføring, for eksempel som følge av varmgang fra elektrisk materiell og utstyr.

Kriterier for antennelse av materialer blir som regel angitt som en *minste temperatur* som forårsaker antennelse med flammer, ved bruk av gnist/flamme (pilotantennelse) eller en varmekilde, uten flamme eller glør (spontanantennelse). Materialer som ikke er i stand til å gløde, som for eksempel termoplast, vil ha en vesentlig lavere antennelsestemperatur ved *pilotantennelse* enn ved spontanantennelse. Forskjellen mellom disse to antennelsestemperaturene er imidlertid minimal for materialer som forkuller, slik som trematerialer og herdeplaster.

4.4 Forskjellige måter for antennelse

Antennelse av et materiale kan defineres som når forbrenning har startet i materialet. Antennelse av faste materialer kan i forbindelse med varmgang på elektrisk materiell og utstyr skje på følgende måter:

1. Antennelse med flammer
2. Antennelse med gløding
3. Antennelse som en ulmebrann/selvantennelse

4.4.1 Antennelse med flammer

Det er vanlig å anta at vanlige trematerialer vil pilotantenne (ved hjelp av gnist eller flamme) ved en varmestrålingsintensitet på $12,5 \text{ kW/m}^2$ ved pilotantennelse og ca 30 kW/m^2 ved spontanantennelse (uten gnist eller flamme), ved *kortidseksponering*. Ved *langtidseksponering* kan, som vi vil komme tilbake til, disse verdiene bli vesentlig lavere. Det samme gjelder antennelsestemperaturen, som vil synke ved *landtidseksponering*.

Det blir også rapportert om at trematerialer tykkere enn 19 mm ikke vil kunne brenne med flammer etter antennelse, dersom ikke treet samtidig blir utsatt for en ytre eller ekstern varmekilde, som er stor nok til å kunne opprettholde produksjonen av pyrolysegasser fra materialet. For at antennelsen skal skje med flammer og brannen skal opprettholdes, må materialet avgi tilstrekkelig med pyrolysegasser som følge av tilbakestråling fra flammene, eventuelt ekstern varmetilførsel fra en annen brann i rommet (Babrauskas, 2003).

4.4.2 Antennelse ved gløding

Når et materiale blir tilført varme, vil det enten begynne å smelte eller forkulle. I noen tilfeller kan materialet både forkulle og smelte, slik som PVC-kabler, men slike kabler kan bestå av opp til 50 % av annet materiale (myknere, stabilisator, fyllstoffer etc.). Betydelige høyere temperaturer blir oppnådd for materialer som forkuller, enn for materialer som bare smelter. På grunn av høye overflatetemperaturer til materialer som forkuller, kan slik materialet til slutt begynne å *gløde*. Dersom dette skjer, vil overflatetemperaturen i samme øyeblikk stige med flere hundrede grader celsius i løpet av få sekunder.

4.4.3 Antennelse som ulmebrann.

Når et porøst eller kornet materiale blir oppvarmet av en lavtemperatur varmekilde, og materialet er i stand til å forårsake selvoppvarming og selvantennelse, kan antennelse åpenbare seg som en *ulmebrann*. Dette vil være antennelsesmekanismen i forbindelse med varmgang i elektrisk materiell og utstyr. Varmepåkjønning fra en varmekilde med temperatur under antennelsetemperaturen for materialet vil forårsake pyrofort materiale, som til slutt kan begynne å ulme dersom forholdene ligger til rette for det. Hvis lufttilførselen øker på grunn av at ulmebrannen har brent gjennom og laget en åpning, kan ulmingen gå over til en flammebrann.

Ulmebrann kan defineres som selvunderholdende, varmeavgivende reaksjonsbølge som sprer seg og som tar reaksjonsvarmen fra oksidering på overflaten av et fast materiale. Ettersom flammer er en reaksjon i et volum (ikke på overflaten, men i gassfasen over overflaten), kan man ikke se flammer i forbindelse med en ulmebrann.

De fleste materialer vil ikke ha tendens til å begynne å ulme. Generelt skjer ulmebrann kun i porøst og kornet materiale, som er i stand til å forkulle. Materialet må ha liten eller ingen tendens til å smelte. Dette fordi den porøse materialstrukturen i det forkullede materialet ikke må tettes igjen av smeltet materiale. Under visse forhold, kan visse cellulosebaserte materialer, slik som papir og faste, temmelig porøse trematerialer, starte en ulmebrann. Papir vil ulme når det består av flere sjikt, med en viss lufttilførsel mellom sjiktene.

En selvunderholdende ulmebrann vil altså forholdsvis lett kunne skje i porøse trematerialer, slik som i fiberplater, pyrofore trematerialer, spon, råtnete trematerialer etc. Massivt tre, som bare er relativt lite porøst, vil vanligvis ikke starte en ulmebrann på en fri overflate i et åpent område. En liten flamme som eksponerer tre vil ikke medføre ulming etter at den er fjernet. En tent sigarett er heller ikke i stand til å antenne fast tre eller overflaten til en sponplate, i hvert fall ikke i stille luft. Eksempler på vanlige materialer som under visse omstendigheter kan starte og ulme og selvantenne, er følgende materialer (Babrauskas, 2003):

- Tre og andre finfordelte cellulosematerialer (flis, fiberplater med lav tetthet etc.)
- Papir
- Lær
- Bomull i form av platevatt, tøystoff eller snøre
- Karbon
- Skogbunn, torv og organisk skitt
- Forskjellige jordbruksprodukter
- Latex-skum
- Noen typer polyuretanskum, fenol formaldehydskum, skumgummi med åpne porer
- Kull, trekull, sigaretter, koks, røkelsespinne
- Støvlag av forskjellig slag
- Pulver (kull, kakao og sagmugg)
- Metallpulver (for eksempel magnesium, messing, jernsulfid, kobber)

Selvantennelse er antennelse uten vesentlig tilførsel av varme eller gnister utenfra. Varmen for antennen produseres hovedsakelig av prosesser inne i materialet. Dette kan være kjemiske, biologiske og fysiske prosesser i materialet. Ofte må det en viss varmpåkjønning til, slik at materialet brytes ned, før materialet begynner å produsere sin egen varme. Materialet må først bli tørt og dekomponeres kjemisk. *Pyrofort tre* er et eksempel på dette fenomenet. Dette er materialer som har vært gjennom en langvarig varmpåkjønning og nedbryting, slik at materialet er blitt tørt, sprøtt og porøst. Materialets overflate kan dermed bli stor i forhold til volumet.

Ettersom både ulmebrann og selvoppvarming ved oksidasjon av materialet er reaksjoner som foregår på overflaten av materialet, kan pyrofort tre under visse forhold relativt lett utvikle sin egen varme. Hvis det samtidig er gode isolerende forhold, kan temperaturen i materialet øke, og til slutt føre til ulming, og senere en antennelse av flammebrann i materialet. Ulmebrann og selvantennelse er på mange måter for så vidt to sider av samme sak. Diskusjonen rundt pyrofort tre vil bli videreført i neste kapittel.

4.5 Antennelse av trematerialer

4.5.1 Generelt

Verken antennelsestemperaturen eller den varmestrålingsintensiteten som medfører antennelse for et bestemt materiale, for eksempel tre, er en materialeegenskap, med en fast entydig verdi, slik som tettheten for et fast materiale. Begge varierer innenfor et vidt område, avhengig av forholdene antennelsen skjer under og tilstanden til materialet, samt materialtypen, fuktinnhold, størrelse, forholdet mellom overflateareal og volum, varigheten av varmeeksponeringen, orienteringen til materialet (vertikal, horisontal eller skrå orientering) etc.

4.5.2 Antenneskriterier for cellulosematerialer

Oppgitte antennelsestemperaturen for treprodukter fra forskjellige kilder varierer nesten like mye som antennelsestemperaturen varierer generelt, uansett materiale. For tre er det rapportert om antennelsestemperaturer i området 200-525 °C ved pilotantennelse, og 250-510 °C ved spontanantennelse (Babrauskas, 2003). På grunn av at tre har en tendens til å gløde, vil spontanantennelsestemperaturen bare være litt høyere enn pilotantennelsestemperaturen.

Tilsvarende rapporteres det om en minste varmestråling for spontanantennelse (uten bruk av gnist eller flamme, men bare varmestråling) i området 4,3-116 kW/m². Årsaken til disse store forskjellene i temperatur og varmeintensitet for å oppnå antennelse, skyldes sannsynligvis følgende faktorer:

- Forskjellige definisjoner av når antennelse av materialet skjer,
- forskjellige testmetoder (testoppsettet, utførelse av test og testforholdene),
- ulike typer og tilstander til trematerialet og sist, men ikke minst
- varigheten og graden av varmeeksponering.

Verdiene fra én og samme kilde eller referanse kan nødvendig varmestråling variere så mye som fra 29 til 116 kW/m². Årsaken til disse store variasjonene er at *varigheten* av eksponeringen spiller en stor rolle. De laveste antennelsestemperaturene og varmestrålingsintensiteter får man ved varmepåkjønning over lang tid og den laveste varmepåkjønningen, som akkurat er stor til å medføre antennelse av materialet.

Antennelsestemperaturen av tre og andre materialer som gløder, er svært avhengig av eksponeringstiden og nivået til den eksterne varmepåkjønningen. For å illustrere dette, kan vi ta følgende eksempel fra brannlitteraturen: Når varmestrålingen mot et tremateriale øker fra 25 til 29 kW/m², øker antennelsestemperaturen fra 255 til 301 °C, mens tiden for antennelse ble redusert med 33 % (Babrauskas, 2001-b).

Ved høy varmestråling vil antennelsestemperaturen generelt være høyere enn ved lavere varmestråling mot et materiale. Dette kan kanskje synes noe motstridende for enkelte, men det skyldes at tre antenner som en *glødebrann* ved 25 kW/m^2 , og som en *flammebrann* ved 29 kW/m^2 . En annen vesentlig forskjell er at eksponeringstiden er lengre ved den laveste varmestrålingen. Den laveste varmestrålingen som tre har antent ved er $4,3 \text{ kW/m}^2$, og antennelse skjedde etter mer enn 5 timer med konstant varmeeksponering (Babrauskas, 2003).

4.6 Konkluderende anmerkninger vedrørende antenneskriterier for tre

Babrauskas (2001-b) har systematisk analysert alle tilgjengelige data for antennelsestemperaturen til trematerialer, og han konkluderte med at laveste temperatur for antennelse av tre, ved varmeeksponering opp til noen få timer, er ca $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Dersom trematerialer blir eksponert for varme i flere måneder eller år, kan tre imidlertid antenne på grunn av varmeeksponering fra kilder med vesentlig lavere temperatur enn $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Hvis et tremateriale blir antent i løpet av noen timer, skyldes antennelsen imidlertid *ytre varmepåkjønning*. Selvoppvarming spiller en ubetydelig rolle ved kortvarig varmepåkjønning. Selv om temperaturbelastningen er vesentlig lavere enn $250 \text{ }^\circ\text{C}$, kan selvoppvarmingen heve temperaturen i trematerialet til $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Dermed kan antennelse likevel finne sted. Den laveste temperatureksponeringen hvor dette fenomenet har skjedd, er $77 \text{ }^\circ\text{C}$, som nevnt i eksempelet foran.

I forsøkene med langvarig varmestråling, hvor antennelse av tre skjedde ved en så lav varmestråling som $4,3 \text{ kW/m}^2$, ble det registrert temperaturer i treet som var høyere enn temperaturen til selve strålingskilden. Dette skulle indikere at nedbryting, forkulling og dannelsen av pyrofort tre, har medført dannelse av pyrofort tremateriale, selvoppvarming og selvantennelse i løpet av varmeeksponeringen med så lav varmestråling som $4,3 \text{ kW/m}^2$. Ved korttids eksponering (uten gnist eller flamme) er der nødvendig med en syv høy ganger så varmestråling, det vil si ca 30 kW/m^2 .

Ettersom papp, sagspon, flis, bomull osv akkurat som trematerialer er cellulosebasert materiale, er det forventet at disse materialene stort sett vil ha samme antennelsestemperaturer som trematerialer, ved langtids varmeeksponering, nemlig $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

5 PYROFORT TRE

5.1.1 Responseren til tre ved lave varmepåkjenninger

Det blir ofte rapportert om at tre begynner å forkulle ved 288 °C, men dette gjelder imidlertid for relativt kortvarig varmeeksponering. Tabell 4.1 viser resultater av varmeeksponering av små trestykker (3 mm x 6 mm) i lange perioder. Disse resultatene viser at når små stykker av tre eksponeres for en temperatur i området 120-150 °C i løpet av noen år, vil de begynne å forkulle.

Tabell 4.1: Resultater av forskjellige temperatureksponeringer av trestykker, avhengig av varmeeksponeringstiden (McNaughton, 1945).

Temperatur (°C)	Varmeeksponeringstid (dager)	Resultat av varmeeksponeringen
107	1050 (2,9 år)	Lys sjokoladefarget
120	1235 (3,4 år)	Sprøtt tre, mørk sjokoladefarget
140	320	45 % av vekttap, forkulling
150	165	65 % av vekttap, forkulling

5.1.2 Et eksempel med lavtemperatur antennelse av trekonstruksjoner

Temperaturene over kan imidlertid virke noe høye i forhold til virkelige hendelser, hvor trematerialer har antent ved enda lavere temperaturer enn det som er oppgitt i tabellen over. Babrauskas (2001-2) rapporterer for eksempel om et tilfelle hvor det oppstod brann i et golv som følge av varmtvannsrør som gikk gjennom golvet. Disse rørene hadde en temperatur på ca 77 °C. Golvet hadde blitt eksponert for denne temperaturen siden bygget var nytt, ca 13 år før brannen i golvet oppstod. Golvet bestod av 38 mm (1,5") "wall plate" på toppen av 16 mm (5/8") "OSB subfloor" (blindgolv).



a)

b) Nærbilde av bildet a)

Figur 4.1: Antennelse av etasjeskille pga varmtvannsrør med overflatetemperatur på 77 °C (Babrauskas, 2001-b).

Rundt 1900 ble det ifølge Babrauskas (2001-2) rapportert om mange branner i forbindelse med damp- eller varmtvannsrør, som penetrerte bygningsdeler av tre. Antennelse ble observert fra tre måneder opp til flere år etter installasjonen av rørsystemene. Disse rørsystemene bestod av varmtvannsrør eller lavtrykks damprør, med temperaturer ikke særlig høyere enn 100 °C. I noen tilfeller skyldtes brannen ekstern antennelse (pga funksjonsfeil i varmtvannsbeholderen). De fleste tilfellene skyldtes brannene ikke ekstern antennelse.

Ved hjelp av eksperter på området selvantennelse av tre, ble det funnet at brannene i forbindelse med varmtvannsrørene i eksempelet foran sannsynligvis skyldtes langvarig og lavtemperatur påkjenning av treet forårsaket av varmtvannsrørene. Basert på teorier som tidligere hadde blitt fremsatt Schwartz (1902), vedrørende selvantennelse av høy, ble det hevdet at langvarig og lavtemperatur påkjenning av tre medførte omdannelse av treet til såkalt *pyrofort tre*.

Pyrofort tre er tre som er blitt termisk nedbrutt over lang tid (fra flere måneder til flere år), spesielt ved gode isolerende forhold, fattig på oksygen. Slikt tre kan bli svært reaktive og meget lett antenkelig. Tre som er blitt sprøtt og tørt, vil bli porøst med stor overflate i forhold til volumet. Dette sikrer effektiv oksidering og ulmebrann på overflaten av treet, noe som kan medføre at temperauren stiger lokalt. Det vil oppstå varmutvikling og ulming i treet, noe som kan gå over til flammebrann, dersom tilstrekkelig mengde med luft blir tilført treet.

Grunnen til at en så lav varmeeksponering som 77 °C var tilstrekkelig til å forkulle og antenne de massive trekonstruksjonene i figur 4.1, var at trekonstruksjonen hadde betydelig større dimensjoner enn trestikkene i forsøkene i tabell 4.1. Tykke trekonstruksjoner medfører større isolasjonstykkelse og mindre varmetap. Trekonstruksjonen i golvet rundt varmtvannsrørene ble omdannet til pyrofort tre. Slikt tre kan medføre effektiv oksidering og varmeutvikling på grunn av stor overflate (medfører effektiv oksidering og varmeutvikling) og lite varmetap.

Varmvannrørene som går gjennom et golv vil hindre eller stenge for oksygentilførselen i lang tid. Slike *oksygenfattige* forhold vil opprettholdes inntil varmepåkjenningen og den resulterende termiske nedbrytingen har forårsaket tilstrekkelig nedbryting og krymping av treet rundt rørene. Gradvis økende oksygentilførsel vil medføre at treet begynner å oksidere i stadig større grad, noe som medfører tilsvarende økende varmeutvikling og selvoppvarming av treet.

Etter lang tid kan denne selvoppvarmingen medføre at antennelsestemperaturen for trematerialet oppnås, det vil si ca 250 °C. En forutsetning for dette er at det lokalt er gode isolerende forhold, slik at den utviklede varmen akkumuleres. En ulmebrann i trekonstruksjonen kan dermed utvikle seg i treet. Denne ulmingen kan til slutt (etter flere måneder eller år), dersom oksygentilførselen blir tilstrekkelig stor, medføre antennelse av trekonstruksjonen med flammer. Dette kan først skje når ulmebrannen har forplantet seg eller utviklet seg så mye at ulmebrannen nærmest har forplantet seg til ytterflaten av konstruksjonen.

Det er fortsatt mange spørsmål og diskusjon blant eksperter på området antennelse av pyrofort tre. For eksempel vet man for lite om fuktighetens rolle. Videre er det blitt antydnet at periodisk varmepåkjenning (regelmessig tilbakevendende varmepåkjenning) kan være mer gunstig for slik antennelse av tre enn konstant varmepåkjenning. Årsakene til dette er enda ikke kjent, men en teori er at treets fuktighet er blant de faktorer som endrer seg mest i forbindelse med periodisk oppvarming av trematerialer.

5.2 Betingelser for dannelse av pyrofort materiale

Dersom trematerialet derimot blir antent på grunn av varmeeksponering for en temperatur lavere enn 250 °C i flere måneder eller år, spiller pyrofort tre, selvoppvarming og selvantennelse en viktig rolle. Selvoppvarmingen skyldes en effektiv *oksidasjon* av pyrofort tre, som er blitt tørt, sprøtt og porøst.

Følgende betingelser er altså nødvendig for å forårsake selvantennelse av tre:

- a. Eksponering av en varmekilde med temperatur lik eller over 77 °C, men under 250 °C
- b. Materialet må være i stand til å omdannes til pyrofort material. Dette er materialer som har:
 - god isolasjonsevne, noe som minimaliserer varmetapet
 - god evne til å oksidere (reagere med oksygen)
 - er porøse og kornete (stor overflate i forhold til volum)
 - har høy permeabilitet, det vil si god gjennomtrengelighet for luft
 - materialet må ikke smelte, men forkulle.
- c. Begrenset ventilasjon eller tilførsel av oksygen til oksideringen av treet, noe som medfører varmeutvikling.

Inne i en tykk og massiv trekonstruksjon vil første betingelsen under punkt b. være oppfylt, men her vil gjennomtrengeligheten for luft ikke være særlig god, med mindre trematerialet er blitt porøst på grunn av langvarig termisk nedbryting. Porøse materialer vil samtidig medføre god varmeisolasjon. Massivt tre som gradvis blir nedbrutt termisk vil etter lang tids varmeeksponering bli sprøtt og porøst.

Antennelsen vil altså ikke skje ved den temperaturen som treet ble eksponert for (for eksempel 77 °C som vannrørene i eksemplet foran), men ved den laveste antennelsestemperaturen for treet. Den lave temperatureksponeringen er varmpåkjenningen som er nødvendig for dannelse av pyrofort materiale. Den videre oppvarmingen skjer ved selvoppvarming (ulming), som er et resultat av oksidasjonen av treet. Trematerialene vil antenne først ved en høyere temperatur, det vil si ved ca 250 °C.

5.3 Brannfaren ved lavtemperatur og langvarig påkjennning av tre

Man kan konkludere med at ethvert objekt med temperatur på 77 °C eller høyere vil utgjøre en brannfare, dersom det kommer direkte i kontakt med trematerialer over en lang periode (flere måneder til flere år), og det samtidig er gode isolerende forhold og forholdsvis lite ventilasjon. Dersom kravet om gode isolerende forhold er oppfylt, er som regel kravet om begrenset lufttilførsel også oppfylt. Dette fordi god varmeisolasjon også medfører begrenset ventilasjon. Kravet vedrørende begrenset ventilasjon sikrer ikke bare at varmen på grunn av oksidasjonen ikke ventileres bort, men også oksygenfattige forhold, som jo også er en nødvendig betingelse for dannelsen av *pyrofort tre*. Det vil si tre som er rikt på karbon, men fattig på oksygen. Ventilasjonen må imidlertid bedres gradvis etter hvert, slik at antennelse med flammer til slutt kan finne sted.

Ifølge Babrauskas (2001-b) bør man i forbindelse med sikker utforming og praksis for installasjon av varmeproduserende utstyr, unngå å eksponere brennbart materiale med temperaturer over 77 °C, ved langvarig varmpåkjennning. Babrauskas (2001-b) kan også opplyse om at allerede i 1959 utga Underwriters Laboratories (UL) i USA en anbefaling om at tre i ikke burde eksponeres i lengre perioder for temperaturer over 170 F, eller 76,7 °C. Dette kravet er temmelig identisk med det anbefalte kriteriet over, med hensyn til laveste temperatur som forårsaker dannelse av pyrofort materiale, nemlig 77 °C.

5.4 Konkluderende bemerkninger angående antennelse av cellulosematerialer

Det kan altså konkluderes med at det ikke går an å snakke om en fast temperatur for antennelse av trematerialer, men at den varierer med eksponeringstiden og varmeeksponeringen. Dette gjelder spesielt for tre, som under visse forhold og omstendigheter kan ha en tendens til selvoppvarming. Temperaturen hvor antennelse kan skje under slik forhold, vil være avhengig av trematerialets størrelse eller tykkelse. Ved direkte antennelse kan man konkludere med at den laveste temperaturen som medfører antennelse er ca 250 °C.

Det har imidlertid vist seg at relativt massive trekonstruksjoner utsatt for langvarig varmpåkjening (flere måneder og år), ved gode isolerende forhold og begrenset lufttilførsel, kan antenne på grunn av temperatureksponeringer under 100 °C, men neppe lavere enn 77 °C. Det er i denne forbindelse snakk om dannelse av pyrofort materiale, selvoppvarming og selvantennelse av treet. Dersom tre blir antent ved en temperatureksponering på 250 °C eller høyere, da er det snakk om direkte antennelse. Hvis antennelse skjer på grunn av en temperatureksponering lavere enn 250 °C, skyldes antennen dannelsen av pyrofort materiale.

Helt andre forhold gjelder for langvarig, lavnivå varmpåkjening av cellulosematerialer enn korttids, høynivå varmpåkjening. Dette fordi de fysiske prosessene er fundamentalt forskjellige i de to tilfellene. Ved korttids varmpåkjening skjer oksidasjonen og antennen i gassfasen, mens ved langtids varmpåkjening skjer oksidasjonen og antennen på overflaten av materialet.

5.5 Aktuelle situasjoner med varmegang og pyrofort materiale

Situasjoner som kan forårsake dannelse og antennelse av pyrofort materiale på grunn av varmgang fra elektrisk utstyr er situasjoner med gode isolerende materialer. Dette er materialer som er porøse (i hvert fall etter langvarig varmpåkjening og nedbryting), og som har relativt god gjennomtrengelighet for luft.

Materialet må videre være i stand til å forkulle, men det må ikke smelte. Dermed kan man sannsynligvis utelukke termoplaste som pyrofore materialer. Smeltet materiale vil ofte tette igjen eventuelle porer og lignende. Selv om massive trekonstruksjoner ikke er særlige porøse, vil de nedbrytes termisk ved langvarig varmpåkjening, og de blir dermed vesentlig mer porøse med stor overflate i forhold til volum.

En fri overflate vil ikke medføre at pyrofort materiale dannelse som antennes etter en tid. En fri overflate kan bare antennes på grunn av direkte antennelse ved at temperatureksponeringen er høyere enn antennelsestemperaturen for det aktuelle materialet. Dette skyldes at varmetapet på en fri overflate blir for stort.

I trekonstruksjoner i relativt tykke vegger og tak med isolasjon vil nærmest alle betingelsene for dannelse av pyrofort materiale være til stede. Den mest aktuelle situasjonen som kan forårsake varmgang og dannelse av pyrofort materiale, er hvis det er innfelt lysutstyr (downlights, spotlight eller lysrør) i en slik trekonstruksjon. Dersom krav til innkassing av lysarmaturen og minste avstand til brennbart materiale ikke overholdes, kan det i slike situasjoner dannes pyrofort materiale, som etter betydelig tid kan føre til antennelse og brann i takkonstruksjonen. Man kan ikke se bort ifra at dette også kan skje, selv i situasjoner hvor disse kravene er tilfredstilt, dersom forholdene for dannelse av pyrofort materiale og selvantennelse er optimale.

REFERANSER

- Ault, K.: Memorandum: Data summary on Halogen Torchiere-Style Floor Lamp Fires, Consumer Product Safety Commission, Washington, 9.04.1998.
- Babrauskas, V: Ignition Handbook, Interscience Communications, ISBN 0-9728111-3-3, 2003.
- Babrauskas, V: Ignition of Wood – A Review of the State of the Art, Interflam 2001, Interscience Communications, London 2001-a.
- Babrauskas, V: Pyrophoric Carbon and Long-term, Low-temperature Ignition of Wood, Fire and Arson Investigator 51:2, Januar 2001-b
- Bjerkseth, M.S: Statistikk, e-post fra DSB 8.09.2006
- Britisk studie: Fire Hazard of Fluorescent Lighting Fittings, Fire Prevention No. 93, 15, May 1973.
- Freytag, H.H.: Handbuch der Raumexplosionen, Verlag Chemie, Weinheim, Germany, 1965.
- Long, K.: Data summary on halogen torchiere-style floor lamps, Consumer Product Safety Commission, Washington, 1997.
- McNaughton, G.C.: Ignition and Charring Temperatures Of Wood, Wood Products Vol. 50, 21-22, 1945.
- NBF: Håndbok i brannetterforskning, innføring i aktuelle emneområder, Norsk Brannvern Forening, Oslo, september 1988.
- Shinomiya, m.fl.: An Investigation of a fire caused by a fluorescent lamp covered with quilts, Summary of the 4th Mtg Japanese Assn. Science and technology for identification, 104, 1998
- Stensaas, J.P.: Branner på grunn av elektrisk installasjonsmateriell, rapport nr. NBL A06121, SINTEF NBL, 2006.
- Schwartz, E.: Fire and explosion risks, oversatt fra tysk til engelsk, Charles Graffin & Co., London, 1902.
- Twomey, E.R. & Ahrens, M: Electrical Distribution And Lighting Equipment Involved In Home Structure Fires, Fire Analysis and Research Division, NFPA (National Fire Protection Association – www.nfpa.org), oktober 2006.