

PVC vindu og brann



Bacheloroppgave utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, Brannteknikk

Av: Lars Roar Skarsbø
Steinar Groven

Kandidat nummer 8
Kandidat nummer 20

Haugesund

Våren 2008

BACHELOROPPGAVE

Studenten(e)s navn: Lars Roar Skarsbø og Steinar Groven

Linje & studieretning Sikkerhet, Brannteknikk

Oppgavens tittel: *PVC vinduer og brann*

Oppgavetekst:

Bruk av PVC i bygningsprodukter er på fremmarsj i Norge. I Europa har produkter av PVC lenge vært anerkjent. Firmaet PVC vindu & dør AS har i den siste tiden opplevd en stor pågang på sine produkter. I den sammenheng opplever de at kunder stiller spørsmål angående PVC og brann. Firmaet kontaktet HSH for å finne ut mer om de branntekniske egenskapene til PVC vindu opp mot tradisjonelle trevindu.

Denne oppgaven vil gi et generelt innblikk i produktet PVC, samtidig som en beveger seg nærmere inn mot PVC vinduer. Her vil det bli gjort sammenligninger mellom PVC vindu og tilsvarende trevindu. Det vil bli sett på avgassing, (hovedsaklig CO, CO₂ og HCl), antennelighet og oppførsel (integritet) ved forbrenning.

For å kunne si noe mer om disse forholdene vil det bli testet prøvestykker av både tre og PVC i konkalorimeter. Det vil og bli utført fullskalaforsøk på RESQ, og mindre forsøk på lab ved HSH.

Endelig oppgave gitt: *10 mars 2008*

Innleveringsfrist: Fredag 2.mai 2008 kl. 12.00

Intern veileder Arjen Kraaijeveld

Ekstern veileder Torbjørn Laudal Haugen, PVC vindu & dør AS

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

*Monika Metallinou Log
22. april 2008*



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel PVC vinduer og brann		Rapportnummer
Utført av Lars Roar Skarsbø og Steinar Groven		
Linje Sikkerhet, Brannteknikk		Studieretning Ingeniør, Brann
Gradering Åpen	Innlevert dato	Veiledere Arjen Kraaijeveld Torbjørn Laudal Haugen (PVC vindu & dør AS)

Ekstrakt

Bruk av PVC i bygningsprodukter er i vekst i Norge. Firmaet PVC vindu & dør AS har stor etterspørsel etter deres produkter. I den sammenheng opplever de at kunder stiller spørsmål angående plastprodukter som PVC i en brannsituasjon.

Denne oppgaven tar for seg de branntekniske egenskapene til vinduer i PVC opp mot vinduer i tre. For å vurdere disse egenskapene ble det gjennomført ulike typer forsøk.

Resultat av forsøk indikerer at PVC har noe dårligere branntekniske egenskaper enn vinduer av tre. Det er her viktig å ta med seg at de branntekniske fordelene vinduer av tre har, hovedsakelig blir gjeldende etter at kritiske forhold for rømning er nådd.

Forord

Som avsluttende arbeid ved branningeniørutdanningen ved Høgskolen Stord/Haugesund skal det skrives en bacheloroppgave. Denne oppgaven består av 2 deler; en skriftlig del som gir 10 studiepoeng, og en muntlig presentasjon som til sammen med den skriftlige delen gir 15 studiepoeng.

Høsten 2007 kontaktet PVC vindu & dør AS Høgskolen Stord/Haugesund. Bakgrunnen var å finne ut om det var interesse i å undersøke de branntekniske egenskapene til vinduene deres i en eventuell bacheloroppgave. Vinduene har ingen brannklassifisering, men det er likevel av interesse å undersøke nærmere hvordan rammen av PVC og hele vinduet totalt sett oppfører seg i en brannsituasjon. Valget falt på denne oppgaven ettersom det virket som en spennende oppgave der en får kombinere teori med flere typer forsøk.

Arbeidet med oppgaven har vært svært tidkrevende, men lærerikt. Samtidig som vi har fordypet oss i teoretiske kunnskaper knyttet til PVC produkter og brann, har vi også fått et bedre innblikk i hvordan vi kan koble teori opp mot ulike testmetoder.

Etter rapporten er det et vedleggshäfte. I dette heftet finner en rådata fra forsøk, grafer og andre data som er blitt behandlet og brukt i selve rapporten.

I løpet av bacheloroppgaven har vi fått hjelp av flere personer, ønsker dermed spesielt å takke:

Torbjørn Laudal Haugen
Arjen Kraaijeveld
ResQ
Røgenes Trevare AS
Richard Utne v/ Dräger Safety Norge AS

Ekstern veileder
Intern veileder
For bruk av område og utstyr
For anskaffelse av tre - profiler
For lån av Dräger måleinstrument

Signatur:


Lars Roar Skarsbø / -08


Steinar Groven / -08

Innholdsliste

Oppgavetekst:	Feil! Bokmerke er ikke definert.
Ekstrakt.....	iii
Forord	Feil! Bokmerke er ikke definert.
Innholdsliste	v
Figurliste.....	vii
Tabelliste	viii
Definisjoner og ordforklaringer.....	ix
Sammendrag	xii
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Begrensninger.....	1
2. Teori	2
2.1 Brannforløp/Overtenning	2
2.2 ISO 834 brannkurven	3
2.3 Heptan.....	4
2.4 PVC generelt	4
2.5 Antennelsesevne	5
2.6 Brennbarhet	5
2.7 Varmeutvikling.....	6
2.8 Røykproduksjon	6
2.9 Røykgassers giftighet	7
2.10 Effekten av branngasser	8
3. Forsøksmetode.....	11
3.1 Småskalaforsøk på brannlaboratoriet	11
3.1.1 Formål.....	11
3.1.2 Materiell - metoder	11
3.1.3 Resultater.....	13
3.2 Testing ved hjelp av konkalorimeter	15
3.2.1 Formål.....	15
3.2.2 Materiell- metoder	15

3.2.3 Resultater	19
3.3 Fullskalaforsøk i test rom	26
3.3.1 Formål.....	26
3.3.2 Materiell- metoder	26
3.3.3 Resultater	30
3.4 Oppsummering av forsøkene og diskusjon	34
3.4.1 Småskalaforsøk på brannlaboratoriet	34
3.4.2 Forsøk i konkalorimeter	36
3.4.3 Fullskalaforsøk i testrom	38
4. Konklusjon	39
5. Referanser	40
6. Vedleggsliste	I

Figurliste

<i>Figur 1. De ulike fasene i en brann og overtenning.</i>	2	
<i>Figur 2. ISO 834 brannkurven.</i>	3	
<i>Figur 3. Prinsippskisse for forsøkene.</i>	11	
<i>Figur 4. PVC profil.</i>	<i>Figur 5. Brann i gummipakning.</i>	13
<i>Figur 6. Skisse av konkalorimeter.</i>	15	
<i>Figur 7. Dräger accuro handpumpe og prøverør.</i>	17	
<i>Figur 8. Område for måling av HCl.</i>	18	
<i>Figur 9. Profil med 3 "lag" PVC.</i>	<i>Figur 10. Profil med 2 "lag" PVC.</i>	20
<i>Figur 11. Varme frigjort ved forbrenning av PVC, hentet direkte fra konkalorimeter.</i>	21	
<i>Figur 12. Varme frigjort ved forbrenning av tre, hentet direkte fra konkalorimeter.</i>	21	
<i>Figur 13. Røykavgivelse PVC profil, hentet direkte fra konkalorimeter.</i>	22	
<i>Figur 14. Røykavgivelse profil av tre, hentet direkte fra konkalorimeter.</i>	22	
<i>Figur 15. CO₂ innholdet i forbrenningsgassene til PVC prøvestykker.</i>	23	
<i>Figur 16. CO₂ innholdet i forbrenningsgassene til prøvestykker i tre.</i>	23	
<i>Figur 17. CO innholdet i forbrenningsgassene til PVC prøvestykker.</i>	24	
<i>Figur 18. CO innholdet i forbrenningsgassene til prøvestykker i tre.</i>	24	
<i>Figur 19. Testbrann.</i>	27	
<i>Figur 20. Plassering av kar med heptan i midten av testrommet.</i>	27	
<i>Figur 21. Skisse av testrommet.</i>	28	
<i>Figur 22. Eksempel på innfesting av metall- og plastvinduer med braketter.</i>	29	
<i>Figur 23. Montert PVC vindu fra innside.</i>	<i>Figur 24. Montert PVC vindu fra utside.</i>	30
<i>Figur 25. Montert tre - vindu fra innside.</i>	<i>Figur 26. Montert tre - vindu fra utside.</i>	30
<i>Figur 27. Temperaturutvikling for brann med PVC vindu.</i>	31	
<i>Figur 28. Temperaturutvikling for brann med tre - vindu.</i>	31	
<i>Figur 29. Bilder hentet av film fra forsøk i test rom.</i>	33	
<i>Figur 30. PVC profil med flere luftlommer.</i>	35	
<i>Figur 31. Profilen av tre.</i>	35	

Tabelliste

<i>Tabell 1. Antennelsestemperatur målt i henhold til standarden ASTM D 1929, utdrag fra tabell.</i>	5
<i>Tabell 2. LOI verdier.</i>	6
<i>Tabell 3. Varmeutvikling ved forbrenning</i>	6
<i>Tabell 4. Virkningen av de viktigste giftkomponenter i røyken fra branner.....</i>	8
<i>Tabell 5. Tålegrense for mennesker eksponert for brannrøyk uttrykt ved 30-min.</i>	8
<i>Tabell 6. Menneskers respons på CO i innåndingsluften.</i>	9
<i>Tabell 7. Effekt av HCl på mennesker.</i>	10
<i>Tabell 8. Utdrag fra tabell 2-6.1(sensory and Pulmonary Irritancy og Combustion Products) i "SFPE handbook and fire protection engineering".</i>	10
<i>Tabell 9. Forsøk med prøvestykker av PVC i konkalorimeter.</i>	19
<i>Tabell 10. Forsøk med prøvestykker av tre i konkalorimeter.</i>	19
<i>Tabell 11. Observasjoner gjort under forsøkene.</i>	32
<i>Tabell 12. Menneskers respons på temperatur.</i>	37

Definisjoner og ordforklaringer

Avklimatisering - Prøvestykker som skal testes blir oppbevart innendørs i romtemperatur for å få gyldige krav med tanke på fuktinnhold og lignende.

Antennelseevne - Mål på hvor lett et prøvelegeme kan antenne av en ekstern varmekilde under angitte prøvebetingelser.

Antennelsestemperatur - Laveste temperatur der et materiale antennes og oppnår vedvarende forbrenning under angitte prøvebetingelser.

Brannklassifisering - Angivelse av branntekniske egenskaper basert på standardiserte prøvemethoder og tilhørende klassifiseringskriterier.

Brennbarhet – Kan testes på ulike måter, som antennelsestid, antennelsestemperatur og hastighet på flammespredning etter antennelse.

Byggforsk - Del av SINTEF som fokuserer på teknisk og samfunnsfaglig forskning, utredning, rådgiving og produktdokumentasjon for bygge- og boligsektoren.

CO - Kjemisk formel for Karbonmonoksid, ofte omtalt som kullos.

CO₂ - Kjemisk formel for karbondioksid.

Dioksin - Er en samlebetegnelse på en gruppe klorholdige giftstoffer som dannes under forbrenning av organisk materiale så lenge det er klor til stede. Dioksin er uten tvil skadelig for mennesker, selv om det enda ikke er registrert dødsfall som skyldes stoffet.

Ekstern varmekilde - En utenforstående varmekilde.

Forbrenning - Eksoterm reaksjon mellom brennbart stoff og en oksidant, vanligvis ledsaget av flammer, gløding eller røykutvikling.

Forbrenningseffektivitet - Angir hvor mye av et materiale som forbrennes. Betegnes som χ .

Forbrenningsvarme – Mål på hvor mye energi en gitt mengde av et brensel avgir ved forbrenning. Bruker symbolet ΔH_c og er gitt i kJ/g eller kJ/mol.

HCl - Kjemisk formel for saltsyre (hydrogenklorid).

Hemoglobin - Protein som har stor evne til å binde oksygen. Finnes i de røde blodcellene og har oppgave å frakte oksygen fra lungene og ut til alle kroppsdelene.

Integritet - Bygningsdels evne til å motstå brannpåkjenning på en av sidene, uten at brannen smitter igjennom som følge av gjennomtrengning av flammer eller varme gasser.

ISO 5660- 1(E) - Internasjonal standard for småskalatesting av branntekniske egenskaper til materialer.

Konisk stråleovn - Kjegleformet stråleovn.

Konkalorimeter - Maskin for testing av branntekniske egenskaper til små prøvestykker.

Korrosjon - Generelle navnet på fenomenet oksidasjon av metaller. Kan oppstå på metallene når de kommer i kontakt med vann (kan forekomme i brann der HCl som forbrenningsprodukt er sterk medvirker til korrodering).

Kritiske forhold/konsentrasjoner - Forhold som gjør det kritisk med tanke på personsikkerhet ved rømning. Dette kan være for høye temperaturer, for mye stråling og for store konsentrasjoner av farlige gasser.

LC₅₀("Lethal concentration") - Prøveforsøk gjort på rotter, der 50 % av rottene var døde etter 14 dager, etter å ha bli utsatt for 30 minutters eksponeringstid.

LOI - verdi - Forkortelse for *Limiting oxygen index test*. Måler den konsentrasjonen av oksygen som skal til i en oksygen/nitrogen blanding for å ivareta forbrenningen

Monomer - En enkel kjemisk forbindelse med lav molekylvekt, som under gunstige forhold reagerer med andre lignende molekyler og danner større molekyler såkalte polymerer. Polymerene kan være organiske eller uorganiske.

NO_x- En samlebetegnelse for nitrogendioksider. Dannes ved forbrenning av fossile brensel.

Pilotantennelse - Varmestråling i kombinasjon med høytemperaturkilde, forårsaker antennelse i materialet.

Polyetylen - Plaststoff, polymeriseringsprodukt av etylen.

ppm - "parts per million", enhet per million.

PVC - forkortelse for polyvinylklorid

PVC – vindu - Vindusramme i PVC med 2 lags glass.

Pyrolyse - Dekomponering av et stoff ved varmepåvirkning under kontrollerte betingelser i en kontrollert atmosfære.

Røyk - Synlig suspensjon av faste eller flytende partikler i gass, forårsaket av forbrenning eller pyrolyse.

Siporex - Et ikke-brennbart byggemateriale som blant annet brukes i peis.

Syntetisk fremstilt - "Kopi" av naturlige stoffer. Syntetiske stoffer er identiske med de naturlige stoffene og har de samme egenskapene.

Termoelementer - Er en seriekobling av ledningstråder av to forskjellige metaller, f.eks. jern og kobber sveiset eller loddet sammen i endene til en strømkrets. Ved forskjellig temperatur på loddstedene vil det gå en strøm i kretsen. Strømmen øker med temperaturforskjellen, og termoelementer kan derfor brukes til temperaturmålinger, opp til 1600 °C.

Termoplast – En polymer som blir myk ved oppvarming og hardt igjen ved nedkjøling. Viktigste termoplaster er polyetylen, polypropylen, polyvinylklorid og polystyren.

Tetthet - Forhold mellom masse og volum til et legeme. Har eningen kg/m^3 .

Tre – vindu - Vindusramme i tre(furu) med 2 lags glass.

Ufullstendig forbrenning - Forbrenning der det ikke er tilstrekkelig oksygen og/eller det ikke er høy nok temperatur til at alle kjemiske bindinger i brennstoffet kan brytes. Avgir CO (karbonmonoksid) og uforbrente hydrokarboner.

Uhomogene materialer - Materialer med ulike egenskaper avhengig av hvor i materialet en befinner seg, eksempelvis tre.

U-PVC - PVC som ikke er blitt mykgjort, stiv (hard) PVC.

Varmestråling - Transport av varmeenergi i form av elektromagnetiske bølger, gitt som W/m^2 .

VCM - vinylklorid monomer. Råstoff for å lage PVC. Kjemisk formel $\text{CH}_2=\text{CH}(\text{Cl})$.

Sammendrag

Bruk av PVC i bygningsprodukter er i vekst i Norge. Firmaet PVC vindu & dør AS har stor etterspørsel etter deres produkter. I den sammenheng opplever de at kunder stiller spørsmål angående plastprodukter som PVC i en brannsituasjon. Denne rapporten tar for seg de branntekniske egenskapene til vinduer i PVC opp mot vinduer i tre. For å vurdere disse egenskapene ble det gjennomført ulike typer forsøk der resultater ble vurdert opp mot teori.

Forsøk som ble gjennomført:

- Småskalaforsøk i brannlaboratoriet ved Høgskolen Stord/Haugesund.
Fastslå temperatur ved antenning, fastslå om PVC forkuller/lager dråper og om forbrenningen kan foregå uten ekstern varmekilde
- Forsøk i konkalorimeter ved Høgskolen Stord/Haugesund.
Vurdere avgassing fra testmaterialet i form av karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO₂) og saltsyre (HCl). Ble og sett på oppførsel ved forbrenningen av materialene og mengde av røykproduksjon ved påvirkning av ekstern stråling.
- Fullskalaforsøk ved området til ResQ i Haugesund.
Ble sett på egenskapene til et komplett montert vindu utsatt for en simulert rombrann inne i et testrom. Det ble testet vindu i både PVC og tre.

I småskalaforsøket på brannlaboratoriet ble det observert at antennelsestemperaturen i PVC var lavere enn angitt i teorien. I de fleste tilfellene var den også lavere enn profilene av tre. Dette kan ses i sammenheng med PVC profilens oppbygning og geometri. Ingen av prøvestykkene produserte noen form for brennende dråper (sett bort fra gummilistene i PVC vinduet). Forkulling inntraff både i prøvestykker av tre og PVC. Prøvestykkene av PVC brant ikke når ekstern varmekilde ble fjernet. Målinger fra konkalorimeteret viser at begge profilene produserte CO og CO₂ i konsentrasjoner under det som kan betegnes som kritisk. PVC profilene produserte i tillegg konsentrasjoner av HCl som kan være skadelig for mennesker. Disse konsentrasjonene ble målt ved strålenivå på 25, 35 og 50 kW/m² stråling. Dette er strålenivå forventet etter at overtenning har inntruffet. I storskalaforøket ble det gjennomført 2 forsøk med montert vindu inne i et testrom. Begge forsøkene ble gjennomført med heptan som brensel. Resultatene viste at temperaturen økte raskere inne i PVC profilen enn i treprofilen. PVC profilen slapp gjennom mer røyk og vinduet knuste noe tidligere enn vindu med ramme av tre.

Totalt sett indikerer disse forsøkene at PVC vinduer har noe dårligere branntekniske egenskaper enn vindu av tre. Det er her viktig å ta med seg at de fordelene trevindu har først blir gjeldene etter at kritiske forhold er nådd. Sannsynligheten for at mennesker kan evakueres er da svært liten. Med tanke på spredning og ventilasjon til brannen viste det seg av fullskalaforsøket at PVC vinduet mistet sin integritet ca 1 minutt og 46 raskere enn vinduet av tre. Dette kan blant annet gi brannvesenet verdifull tid til slukking, og dermed hindre spredning videre i fasade. Et annet aspekt som er viktig å ta hensyn til når resultatene vurderes, er det tilskuddet et vindu gir til en brann. Et gjennomsnittelig bolighus inneholder fra før store mengder PVC.

1. Innledning

Firmaet PVC vindu & dør A/S er ett lokalt eid selskap med hovedkontor i Åkrahamn i Karmøy kommune. De er importør og har agentur på produkt fra de tyske produsentene Rehau, Gealan og Schuco. Bedriften har den siste tiden merket en markant vekst i bestillinger på produkt som vinduer og dører i PVC. I Europa har produkt innen PVC en langt høyere markedsandel en det den har i Norge, der det fremdels er tre som er klart ledende.

1.1 Bakgrunn

Siden bygningsprodukt i PVC ikke er så utbredt i Norge enda, blir det ofte stilt spørsmål hvordan PVC produkter oppfører seg i forhold til de mer tradisjonelle produktene i tre. Herunder er brann og PVC et viktig tema.

PVC vindu & dør A/S kontaktet høgskolen i håp om og få litt bedre kunnskap om hvordan deres produkter oppfører seg i en brann. Bedriften har hatt stor pågang av kunder som stiller spørsmål angående plastikkprodukt som PVC i en brannsituasjon. En vanlig oppfatning er at PVC er lett antennelig og forbundet med giftige gasser og røyk. Dagens tilgjengelige informasjon er sparsom.

1.2 Mål

Ettersom PVC vinduet som blir testet i denne rapporten ikke har brannklassifisering blir det ikke stilt noe spesielle krav ved brann. Likevel er målet å se på kritiske parametrene som kan oppstå under slike spesielle forhold. For å kunne si noe om hvordan PVC vinduer oppfører seg i situasjonen brann, vil det bli sammenlignet opp mot trevindu. Det som da er ønskelig å finne ut er; antenlighet, hvor godt produktene brenner, forkulling, dannelse av brennende dråper, vedvarende forbrenning etter fjerning av ekstern varmekilde, avgivelse av farlige røykgasser og oppførsel ved påvirkning av høye temperaturer.

1.3 Begrensninger

Det vil bli testet små prøvestykker ved brannlaboratoriet og i konkalorimeter, samt test av hele vindu i et testrom. Ved hjelp av konkalorimeter kan en si noe om; hvor lett produktet vil antenne, forbrenningen, røykproduksjonen og produksjonen av giftige gasser som CO og CO₂. Ettersom produksjonen av HCl er sentral ved forbrenning av PVC vil det bli foretatt eksterne målinger av HCl underveis. Dette vil bli gjort i form av oppsamling av røyk i spesialtilpasset rør som indikerer HCl innholdet i røyken. I småskalaforsøk ved brannlaboratoriet undersøkes små prøvestykkers egenskaper opp mot; antennestemperatur, forekomst av brennende dråper, vedvarende forbrenning etter fjerning av ekstern varmekilde og forkulling. Ved hjelp av fullskalforsøk i testrom ved ResQ blir det vurdert hvordan vindu som helhet oppfører seg ved påkjenning av en brann. Dette i form av integritet som nedsiging, stor røykavgivelse fra og gjennom vindu og eventuelt andre forhold som kan forekomme.

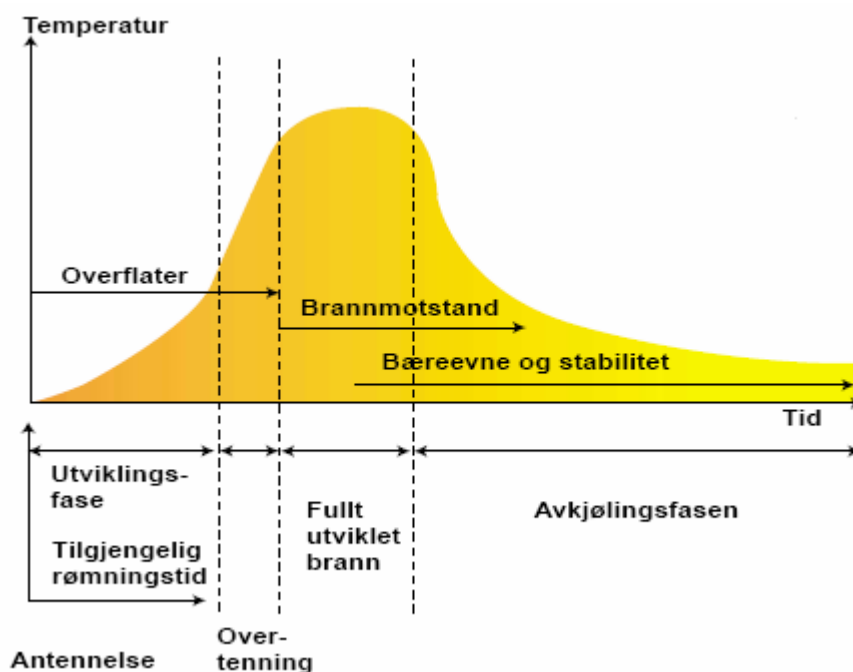
2. Teori

Kapittelet gir en kort innføring i teori knyttet til brann generelt, forhold som omhandler forbrenning av PVC produkter og andre forhold knyttet til forsøkene.

2.1 Brannforløp/Overtenning

Kapittelet er i sin helhet hentet fra boken ”grunnleggende brannteknikk” [17], unntak er figur.

En brann kan deles inn i 4 faser; antennelsesfasen, vekstfasen, fullt utviklet brann og utbrenning eller avkjølingsfasen. Dette er vist i figur 1. Figuren viser og betydning av bygningsmessige ytelser i forhold til brannutvikling. Hurtigheten til brannutviklingen og temperaturene som oppnås, varierer fra brann til brann.



Figur 1. De ulike fasene i en brann og overtenning[18].

Etter antennelse vil brannen utvikle seg og vokse. Hvor stor brannen blir, avhenger av flere faktorer, der den viktigste er tilgangen på brennbart materiale. Når brannen er så stor at den involverer alt brennbart materiale i rommet kalles den fullt utviklet brann. Ved dette tidspunktet kan ikke brannen bli større uten at den sprer seg til andre rom. Brannen går da over fra å være brenselkontrollert til å bli ventilasjonskontrollert og dermed avhengig av tilgang på luft for å vokse seg større. Forbruket av brennbart materiale er svært stort i en fullt utviklet brann. Etter en stund vil nesten alt materiale være brent opp, og brannen vil minske i omfang. Brannen er da gått over i utbrenningsfasen.

Overgangen fra vekstfasen til en fullt utviklet brann kalles overtenning. Det er likevel slik at denne overgangen kan skje uten at overtenning inntreffer. Overtenning er dermed ikke en av brannens faser. Kjentegn for overtenning er at alle brennbare flater og røyklaget under taket antenner samtidig. Dette vil ikke skje dersom brannen utvikler seg sakte, men brannen vil da også kunne gå over fra vekstfasen til fullt utviklet brann.

Forhold rundt overtenning er usikre, men vanligvis blir ett av disse kriteriene lagt til grunn for å vurdere om overtenning vil inntreffe:

- Temperaturer i røyklaget overstiger 600 °C
- Varmestrålingen fra røyklaget til gulvet er mer enn 20 kW/m².

2.2 ISO 834 brannkurven

For å oppnå et mest mulig standardisert branntilfelle i fullskalaforsøk, ble brannen dimensjonert for å ligge mest mulig nært ISO 834 kurven. Denne kurven er en standardisert temperatur - tids kurve som er representativ for norske forhold. ISO 834 er vanligvis brukt ved klassifisering og testing av konstruksjoner og bygningsmaterialer.

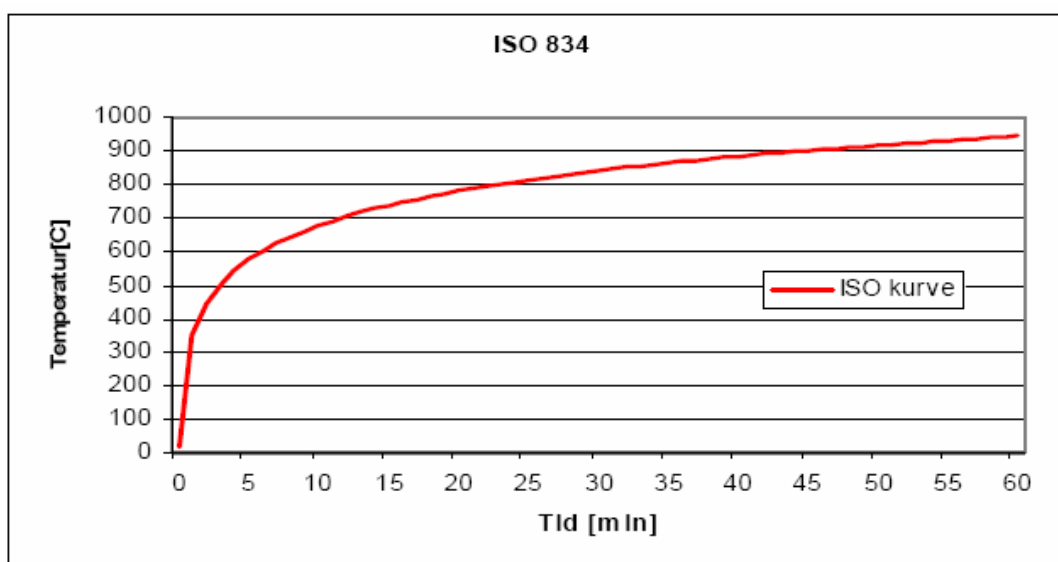
ISO 834 kurven utledes fra ligning:

$$T = T_0 + 345 \log_{10}(8t+1)$$

T. = Temperatur ved tid (t).

t. = Tid i minutt.

T₀. = Indikerer starttemperaturen. Her gitt som 20°C.



Figur 2. ISO 834 brannkurven.

2.3 Heptan [16]

Kjemisk betegnelse:	C_7H_{16}
Kjemisk gruppe:	Organisk stoff, Alkaner.
Tetthet:	684 kg/m^3 .
ΔH_c :	$44,59 \text{ kJ/g}$.
Flammepunkt:	$-4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Heptan har høy fordamping og antenner lett. Dette gir en rask brannutvikling sammenlignet med for eksempel bensin. En brann med heptan vil ha en intensiv økning til den går tom for brensel eller til ventilasjonen hindrer utviklingen.

HMS datablad for n-heptan ligg som vedlegg D.

2.4 PVC generelt

Der ikke annen referanse er oppgitt i dette kapittelet er informasjonen hentet fra boken "PVC og miljø"[3].

PVC, eller polyvinylklorid, er en polymer i etylenfamilien. I tillegg til PVC finner en blant annet polyetylen og polystyren i samme familie. Vinylklorid (VCM) er det monomere PVC blir produsert av. Vinylklorid ble for første gang fremstilt i et laboratorium av den tyske kjemikeren Justus von Liebig i 1835. Den første kommersielle produksjonen av PVC var i USA på slutten av 1920 tallet. Tysk og britisk industri fulgte opp produksjonen i henholdsvis tretti og førtiårene. Norsk Hydro startet produksjon av PVC i Porsgrunn i 1951.

PVC blir i dagens samfunn brukt i en rekke ulike produkter, der en skiller mellom hard og myk PVC. Hard PVC, som det blir sett nærmere på i denne rapporten finnes i produkter som; dørkarmer, vinduer, rør i ulike dimensjoner, takrenner, osv. Myk PVC finner en i ulike typer emballasje, gulvbelegg, isolasjon på ledninger, regnklær osv. PVC har blitt et av de mest brukte og anvendelige plastikkproduktene en har. Det skiller seg fra andre plastikkprodukter ved at det i tillegg til karbon(C) og hydrogen(H) består av ca 56 % klor(Cl). Anvendelsen av klor har både sine fordeler og ulemper. I brannsammenheng er dette blant annet:

Fordeler:

- Antennelsesevne.

Hard PVC har en antennelsestemperatur på ca $390 \text{ }^\circ\text{C}$, mens myk PVC antenner rundt $330 \text{ }^\circ\text{C}$. Furu antenner ved $240 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Brennbarhet.

PVC har en høy LOI verdi(limeting oxygen index test). Dette vil forenklet si at de fleste PVC produkt ikke vil brenne av seg selv, men er avhengig av en ekstern varmekilde for å opprettholde forbrenningen.

- Varmeutvikling.
Selv om hard PVC, tre og papir avgir sammenlignbare mengder varme, har PVC en lavere varmeutviklingshastighet ved forbrenning.

Ulemper:

- Ved forbrenning av PVC vil det bli dannet saltsyre (HCl) og dioksiner.

2.5 Antennelsesevne

Der ikke annen referanse er oppgitt i dette kapittelet er informasjonen hentet fra boken "PVC og miljø"[3].

Det høye innholdet av klor skiller PVC fra andre plaster, og fører til at materialets antennelsesevne i en brann er lavere. Av tabell 1 ser en at hard PVC har en antennelsestemperatur som er 150 °C høyere enn furu, mens en må 190 °C høyere for å få selvantennelse i PVC sammenlignet med furu.

Tabell 1. Antennelsestemperatur målt i henhold til standarden ASTM D 1929, utdrag fra tabell[1].

	Antennelsestemperatur [°C]	Selvantennelse[°C]
Hard PVC	390	450
Furu	240	260
Myk PVC (isolering)	330	385
Myk PVC (FRLA)	400	410

FRLA - brannhemmende, lavt syreutslipp

2.6 Brennbarhet

Der ikke annen referanse er oppgitt i dette kapittelet er informasjonen hentet fra boken "PVC og miljø"[3].

PVC materialer har den egenskapen at de ikke kan brenne av seg selv, men er avhengig av en ekstern varmekilde for å opprettholde forbrenningen. Dette på grunn av PVC sin høye "LOI" verdi (Limting oxygen index test). En LOI test baseres på å måle den konsentrasjonen av oksygen som skal til i en oksygen/nitrogen blanding for å ivareta forbrenningen. Materialer med LOI verdier over 21 brenner normalt ikke i vanlig romtemperatur. For at forbrenning skal opprettholdes med høye LOI verdier må det enten være tilstede et høyere oksygenivå en normalt, eller en ekstern varmekilde må tilføres.

Fra tabell 2 ser en at hard PVC har en LOI verdi på 45- 50, tre ligger på 21 – 22, mens de fleste termoplastene ligger mellom 17 – 18.

Tabell 2. LOI verdier[2].

Material	LOI
Stiv (hard) PVC	45-50
Myk PVC	21-36
Tre	21-22
Pleksiglass (PMMA)	17

I motsetning til andre vanlige termoplaster vil PVC ved forbrenning utvikle en forkullet overflate som vil hindre videre brannspredning. Denne forkullingen bidrar til at PVC ikke vil danne brennende dråper.

2.7 Varmeutvikling

Der ikke annen referanse er oppgitt i dette kapittelet er informasjonen hentet fra boken "PVC og miljø"[3].

Alle material som brenner vil frigjøre varme. Hard PVC har ei varmeutvikling på 20 000 KJ/kg [2].

Tabell 3. Varmeutvikling ved forbrenning [2].

Varmeutvikling ved forbrenning (KJ/kg)	
Bensin	44 000
Hard PVC	20 000
Papir	18 000
Tre	17 000

Hvor raskt et material frigjør varme vil ha en innvirkning på hvor alvorlig en brann blir og hvor hurtig den sprer seg. Hard PVC som blant annet brukes i vinduer og dører har tilnærmet lik varmeutvikling som tre, men hastigheten den blir avgitt på er lavere hos PVC. Dette vil ha en positiv innvirkning med tanke på brannspredning til omkringliggende gjenstander.

2.8 Røykproduksjon

Der ikke annen referanse er oppgitt i dette kapittelet er informasjonen hentet fra boken "PVC og miljø"[3].

Når et material brenner utvikler det seg røyk. Røyk kan defineres som: "Synlig suspensjon av faste eller flytende partikler i gass, forårsaket av forbrenning eller pyrolyse"[5]. Røyk kan også forklares som partikler i fast eller flytende form fra en ufullstendig forbrenning, som spres ved hjelp av forbrenningsgassene.

Ved brann i bygninger er det ofte røyken som tar liv, ikke flammene. Store røykmengder medfører at rømningsveiene blir vanskeligere å lokalisere. Dette kan føre til forvirring og ofte er gassen i røyken giftig for mennesker. Det er flere faktorer som spiller inn på hva slags røyk som dannes og hvordan den spres i et bygg. De viktigste faktorene er; forbrenningseffektiviteten, hvilke type material som brenner og oksygentilførsel. Det blir hevdet at i branner der det ikke opptrer flammer vil PVC produkt ha tilnærmet lik røykproduksjon som når tre brenner. I branner der vi får synlige flammer vil PVC ha en større total røykproduksjon, men på grunn av den lave hastigheten varmen blir frigjort med, vil likevel PVC ha en lavere røykutvikling per tidsenhet en de fleste organiske materialer. Denne påstanden vil bli sett nærmere på i ulike forsøk.

2.9 Røygassers giftighet

Der ikke annen referanse er oppgitt i dette kapittelet er informasjonen hentet fra "SINTEF handbook"[6].

Ved forbrenning vil alle materialer produsere giftige gasser, dette er uavhengig om de er organisk eller syntetisk fremstilt. De vanligste gassene som fremkommer ved forbrenning av PVC er; karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO₂), saltsyre (HCl) og vann (H₂O). Alle materialer som forbrenner vil utvikle CO og CO₂. HCl vil kun dannes ved forbrenning av stoffer som inneholder klor.

Mennesker reagerer ulikt på forbrenningsgasser, ofte kan reaksjonene knyttes til en eller flere av disse faktorene:

- Branngassens giftighet.
- Varmepåkjenning.
- Nedsatt siktbarhet.

De giftige gassene kan deles inn i to grupper, narkotiske og irriterende gasser.

Eksempel på disse er:

- Narkotiske gasser:

Forårsaker nedsatt bevissthet (narkose) og død p.g.a. kveling.

Eksempel på narkotiske gasser er: CO, CO₂ og hydrogencyanid (HCN).

- Irriterende gasser:

Forårsaker ofte at offeret blir satt ut av stand til å rømme, hovedsakelig p.g.a. virkninger på øyene og luftveier.

Eksempel på irriterende gasser er: Hydrogenklorid (HCl), nitrogenoksider (NO_x), ammoniakk (NH₃), svoveldioksid (SO₂)

I denne oppgaven er det lagt vekt på gassene CO, CO₂ og HCl. Disse gassene er blitt målt i konkalorimeter (CO og CO₂) og ved hjelp av eksterne målinger av HCl (dräger pumpe og rør).

2.10 Effekten av branngasser

Der ikke annen referanse er oppgitt i dette kapittelet er informasjonen hentet fra "SINTEF handboken"[6].

Ved forbrenning av PVC dannes det som tidligere nemt ulike typer gasser. Giftighet, effekten av den og konsentrasjoner som påvirker mennesker blir omtalt i dette kapittelet.

Tabell 4. Virkningen av de viktigste giftkomponenter i røyken fra branner[6].

Giftig gass	Virkning på mennesker
CO	En tilstand av asfyksi (kvelningstilstand, stans i åndingen)
CO ₂	Ved moderate konsentrasjoner medfører CO ₂ -eksponering til hurtig pusting og dermed økt opptak av branngasser. Fører til bevisstløshet ved høye CO ₂ -konsentrasjoner. CO ₂ betraktes vanligvis ikke som en giftig gass på grunn av at konsentrasjonen ikke blir tilstrekkelig høy.
HCl	Irriterende for åndedrettet

Tabell 5. Tålegrense for mennesker eksponert for brannrøyk uttrykt ved 30-min[6].

Branngass	LC ₅₀ [ppm]
Karbonmonoksid (CO)	4 600
Karbondioksid (CO ₂)	146 000
Saltsyre (HCl)	7700
NO _x	180

Effekten av karbonmonoksid(CO):

Undersøkelser gjort på omkomne i branner konkluderer med at karbonmonoksid er den viktigste årsaken til at folk dør i brann. Grunnen til at karbonmonoksid tar så mange liv er ikke nødvendigvis giftigheten (se tabell 5), men at det i en brann vil det dannes relativt høye konsentrasjoner av denne gassen. Virkningene av karbonmonoksidforgiftning er asfyksi (se tabell 4). Dette er en form for indre kvelning, der karbonmonoksid binder seg til hemoglobinet i blodet og utkonkurrerer oksygen som normalt skal transporteres ut i kroppen. Karbonmonoksid binder seg til hemoglobinet i de røde blodcellene ca 300 ganger bedre enn oksygen. Karbonmonoksid er meget giftig i konsentrasjoner som er vanlig i branner innendørs. Ved konsentrasjoner på 1000 -1200 ppm vil det oppleves som et ubehag etter ca 15 minutters eksponering, tilsvarende konsentrasjonen kan være dødelig dersom eksponeringen overstiger 1 time. Like etter overtenning kan konsentrasjonen av karbonmonoksid ligge på 70 000 ppm, en slik konsentrasjon kan være dødelig etter bare ett minutt eksponering (se tabell 6).

Tabell 6. Menneskers respons på CO i innåndingsluften [13].

CO - konsentrasjon [ppm]	Effekt
200	Mulig svak hodepine i løpet av 2-3 timer
400	Hodepine og kvalme i løpet av 1-2 timer
800	Hodepine, svimmelhet, kvalme i løpet av ¾ time. Kollaps og mulig bevisstløshet i løpet av 2 timer.
1600	Hodepine, svimmelhet, kvalme i løpet av 20 minutter. Kollaps og mulig bevisstløshet i løpet av 2 timer.
3200	Hodepine, svimmelhet i løpet av 5-10 minutter. Bevisstløshet og mulig død i løpet av 30 minutter.
6400	Hodepine, svimmelhet i løpet av 1-2 minutter. Bevisstløshet og mulig død i løpet av 10-15 minutter.
12 800	Umiddelbar effekt, bevisstløshet og død i løpet av 1-3 minutter

Effekten av karbondioksid (CO₂):

Karbondioksid er i seg selv ikke giftig i de konsentrasjonene som er vanlig i en boligbrann, men selv mindre mengder av denne gassen fører til en forhøyet pustefrekvens hos mennesker. Ved en konsentrasjon av CO₂ på rundt 2 % vil pustefrekvensen til et menneske øke med ca 60 %. Dette fører til høyere opptak av andre giftige gasser. Ved en konsentrasjon på 5 % CO₂ kan en oppleve problemer med å puste, imidlertid kan et menneske eksponeres for en slik konsentrasjon i en time uten og få varige skader. Når konsentrasjoner overstiger 10 % vil man være avhengig av hjelp til å evakuere.

Effekten av hydrogenklorid (HCl):

HCl er som tidligere nemt en irriterende gass. Disse gassene forstyrrer og forårsaker smerter blant annet på øynene og i pusteveiene. Smertene blir nødvendigvis ikke forverret etter lenger eksponeringstid, i visse tilfeller kan de minke. Gassen vil, avhengig av eksponeringen, ha en giftvirkning på lungene. Denne virkningen er mest alvorlig etter noen timer og kan forårsake død. Verdier for hva som er skadelig HCl konsentrasjon ved innånding varierer en del etter hvor litteraturen kommer fra. Tabell 5, 7 og 8 viser et godt eksempel på dette.

Tabell 7. Effekt av HCl på mennesker[14].

Saltsyre (HCl)	Fargeløs gass tyngre enn luft, med skarp, stikkende lukt. Kan danne tåkeliignende gasskyer i omgivelsene. Akutt giftig og etsende. Virker irriterende på slimhinner, øyne og luftveier.	Klor og saltsyre luktes ved svært lave konsentrasjoner og lenge før det er fare på ferde.
<i>For klor og saltsyre ligger lukte- og faregrenser innen disse områdene:</i>		
0-10ppm Lukt og irritasjon i luftveiene	30-100ppm Fare for personskader etter kort eksponeringstid. Fare for alvorlige og livstruende skader ved lenger eksponeringstid.	100-500ppm og høyere Umiddelbar livsfare avhengig av eksponeringstid og konsentrasjon.

Tabell 8. Utdrag fra tabell 2-6.1(sensory and Pulmonary Irritancy og Combustion Products) i "SFPE handbook and fire protection engineering".

Gass	30-min LC ₅₀ [ppm]
HCl (saltsyre)	1600-6000

Effekten av oksygenmangel:

En annen effekt som er aktuell ved brann er mangel på oksygen. Når konsentrasjonen av røyk øker, samt selve forbrenningen forbruker oksygen, kan konsentrasjonen i et rom falle til under 21 % som er normalt. Når oksygenkonsentrasjonen faller til ca 17 % vil bevegelseskoordinasjonen til et menneske bli dårligere. Konsentrasjoner ned mot 10 % fører til nedsatt dømmekraft og rask utmattelse. Oksygennivå mellom 6 - 10 % vil føre til at mennesker mister bevisstheten og må gjenopplives med frisk luft eller oksygen. Ved hard fysisk aktivitet vil symptomene inntre tidligere.

3. Forsøksmetode

Rapporten baserer seg på tre ulike forsøksmetoder; småskalaforsøk i brannlaboratoriet ved Høgskolen Stord/Haugesund, forsøk i konkalorimeter og avsluttende fullskalaforsøk i testrom på ResQ. I småskalaforsøk på brannlaboratoriet og i konkalorimeter ble de branntekniske egenskapene til små prøvestykker i PVC og tre undersøkt. I fullskalaforsøket ble det sett på egenskapene til et komplett montert vindu utsatt for en simulert rombrann inne i et testrom. Det ble testet vindu i både PVC og tre.

3.1 Småskalaforsøk på brannlaboratoriet

3.1.1 Formål

Å vurdere antennelsestemperatur, fastslå om PVC forkuller/lager dråper eller om forbrenningen kan foregå uten ekstern varmekilde er ikke like lett i konkalorimeter eller fullskalaforsøk. For å vurdere dette ble det gjennomført enkle tester både av tre og PVC profiler på brannlaboratoriet ved høgskolen.

3.1.2 Materiell - metoder

Testene ble utført etter prinsippskisse gitt i figur 3.

En propanbrenner settes under selve profilene som skal testes. For å måle temperaturer rett under profilen der avgassing av brennbare gasser vil forekomme, ble det brukt termoelementer koblet til en logger.



Figur 3. Prinsippskisse for forsøkene.

For å dokumentere det som skjedde, ble alle forsøkene filmet. Ut fra filmen, målinger fra termoelementer og observasjoner ble antennelsestemperaturer, forkulling, dannelse av brennende dråper, samt forbrenning uten ekstern varmekilde vurdert.

Prøvestykkene:

Prøvestykkene av PVC er del av vindusprofil (rammen) fra produsenten REHAU. Prøvestykkene i tre er del av vindusprofil og er av furu. De er overflatebehandlet med krystallimpregneringsvæske mot sopp og råte[11].

Forsøkene som ble utført er:

Forsøk 1 i PVC:

Varmet opp profilen med propanbrenner. Dette for å fastslå om PVC opprettholder forbrenning uten ekstern varmekilde(propanbrenner) eller om materialet kun forkuller. Fastslå om det forekommer brennende dråper fra PVC og se på røykavviklingen.

Forsøk 2, 3 og 4 i PVC:

Varmet opp profilen med propanbrenner. Målet med forsøkene var å gi en indikasjon på antennelsestemperaturen for den aktuelle vindusprofilen. Har plassert ett termoelement like under profilen (Termo 1) og ett inne i selve profilen(Termo 2).

Forsøk 1 i tre:

Varmet opp profilen med propanbrenner. Dette for å fastslå om tre opprettholder forbrenningen etter at ekstern varmekilde fjernes eller om det kun forkuller. Skal også se på røykavviklingen.

Forsøk 2 og 3 i tre:

Varmet opp profilen med propanbrenner. Målet med forsøkene var å gi en indikasjon på antennelsestemperaturen for den aktuelle vindusprofilen. Plasserte begge termoelementene like under profilen.

Dette forsøket er ikke gjennomført etter noen standardisert testmetode, dette av den grunn at det er forholdsvis enkle parameter som skal testes.

3.1.3 Resultater

Forsøk 1 i PVC:

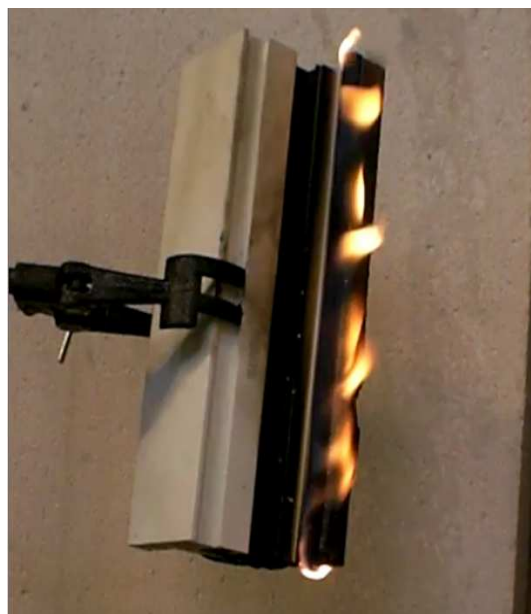
Ved å påføre PVC profilen en ekstern varmekilde fra gassbrenneren, antente profilen etter hvert. Fra selve PVC materialet i profilen forekom det ingen brennende dråper. PVC profilen opprettholdt ikke forbrenningen etter at ekstern varmekilde ble fjernet. Overflaten forkullet og det kom relativt mye røyk fra forbrenningen. Da ekstern varmekilde ble fjernet stoppet forbrenningen og røykutviklingen minket.

PVC profilen bestod også av tetningslister. Disse brant godt og avga en del brennende dråper. Etter fjerning av ekstern varmekilde, opprettholdt forbrenningen i tetningslistene. Selv om listene brant godt også etter at ekstern varmekilde ble fjernet, var volumet av listene relativt lite i forhold til hele profilen. De avga dermed ikke nok varme til å antenne materialet av PVC.

Figur 4 viser PVC profilen med tetningslister, mens figur 5 viser profilen med brennende tetningslister uten eksponering fra ekstern varmekilde.



Figur 4. PVC profil.



Figur 5. Brann i gummipakning.

Forsøk 2, 3 og 4 i PVC:

Gjennom forsøkene ble det sammenlignet temperaturer fra målinger med termoelementer opp mot dokumentasjon av antennelse på film. Ut fra dette ble det observert at antennelsestemperaturen i PVC prøvestykkene lå i et område rundt 350 °C. Antennelsen oppstod relativt raskt ved temperaturer opp mot dette.

Forsøk 1 i tre:

Ved å påføre profilen av tre en ekstern varmekilde frå propanbrenneren, antente profilen etter en stund. Profilen måtte eksponeres lenger enn PVC profilen for å antenne. Ved å fjerne ekstern varmekilde opprettholdt profilen forbrenningen, men med relativ liten flamme- og røykutvikling. Profilen forkullet og avga relativt lite røyk.

Forsøk 2 og 3 i tre:

Gjennom forsøkene ble det sammenlignet temperaturer fra målinger med termoelementer opp mot dokumentasjon av antennelse på film. Ut fra dette ble det observert at antennelsestemperaturen i prøvestykkene av tre låg i et område rundt 450 °C for begge prøvestykkene. Det tok relativ lang tid med oppvarming rundt denne temperaturen før antennelsen oppstod.

3.2 Testing ved hjelp av konkalorimeter

Testing ved hjelp av konkalorimeter er en av de mest avanserte metodene for å bestemme materialers branntekniske egenskaper. Det blir testet prøvestykker i småskala.

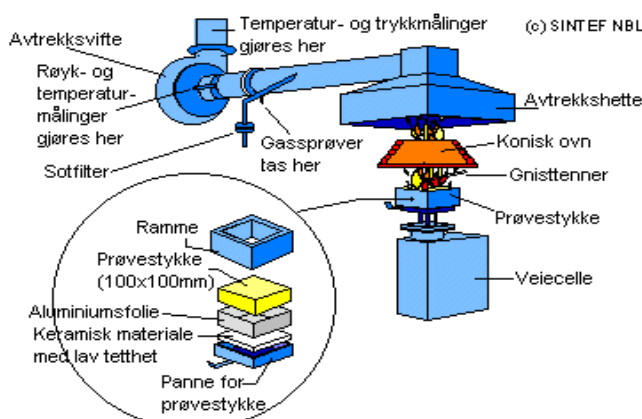
3.2.1 Formål

Ved hjelp av testing i konkalorimeter ble det i hovedsak sett på avgassing fra testmaterialet i form av karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO₂) og saltsyre (HCl). Det ble og sett på oppførsel ved forbrenning av materialet og mengde røykproduksjon.

3.2.2 Materiell- metoder

Testing i konkalorimeteret følger prosedyren beskrevet i internasjonal standard ISO 5660-1(E). En kan i tillegg utføre målinger av røykproduksjon og produksjon av giftige røykgasser i løpet av testen. Resultater av testen gir muligheter for å evaluere antenlighet, brennbarhet, røykproduksjon og produksjon av giftige gasser for de enkelte prøvestykkene. Konkalorimeteret er ikke en del av det norske systemet for brannklassifisering av bygningsmaterialer, men er likevel godt egnet til å kvantifisere materialers branntekniske egenskaper[8].

Prinsipper for prøvingen er at prøvestykker på 100×100 mm blir eksponert for et konstant nivå av varmestråling fra en konisk stråleovn. Prøvestykkene skal maksimalt være 50 mm tykke og representativt så langt som mulig for produktet. Varmestrålingen kan velges i området fra 0-100 kW/m². Avdampingsgasser fra prøvestykket blir antent ved hjelp av en elektrisk gnisttenner. Forbrenningsgassene blir deretter samlet i en avtrekkshette for videre analyse. Ved hjelp av gassanalyse kan en beregne hastigheten for varmeavgivelse og vurdere produksjonen av giftige gasser fra prøvestykket. Røykproduksjonen blir bestemt ved å måle hvor mye en laserstråle dempes av røyken i avtrekkskanalen. For å registrere hastigheten for massetapet av prøvestykket under forbrenning blir prøvestykket plassert på en vekt.



Figur 6. Skisse av konkalorimeter[8].

Etter endt testing får en ut en rapport med tallmateriell gitt både i tabell og i kurveform.

Følgende resultater blir gitt i tabell:

- Tid til antennelse (s).
- Total avgitt varme [MJ/m²].
- Maksimal hastighet for varmeavgivelse [kW/m²].
- Gjennomsnittlig varmeavgivelse etter 180s og etter 300s [kW/m²].
- Effektiv forbrenningsvarme [MJ/kg].
- Gjennomsnittlig røykproduksjon [m²/s].
- Produksjon av karbonmonoksid CO og karbondioksid CO₂ [g].

Følgende resultater kan bli gitt i kurveform:

- Hastighet for varmeavgivelse [kW/m²].
- Røykproduksjon [m²/s].
- Produksjonen av CO, CO₂ og HCN(blåsyre) [g/s].
- Prøvestykkets masse som funksjon av tid [g/s].

Testene som er blitt gjort i dette forsøket har følgende parametere:

- Materiale som blir testet: PVC og tre.
- Prøvestykker: 100×100 mm.
- Strålingsnivåer: 25, 35, 50 kW/m².
- Antall prøvestykker per strålenivå: 3.

PVC prøvestykkene:

Den opprinnelige PVC profilen ble delt opp i flere prøvestykker med areal på 100 cm². Tykkelsen på prøvestykkene varierte fra 12 mm til 20 mm. Overflaten som ble eksponert for stråling var plan og tilsvarende som overflaten for et PVC vindu. Profilen opprettholdt dermed sin opprinnelige form på den eksponerte siden, men tykkelsen ble mindre ettersom profilen opprinnelig var over 5 cm tykk. Alle profiler ble dermed delt opp og tilpasset slik at de skulle ligge plant under testen.

Den innvendige geometrien, det vil si ”lag” med PVC inne i profilen varierte noe fra prøvestykke til prøvestykke. Dette er med på å gjøre at vekten for de forskjellige prøvestykkene varierer.

Tre - prøvestykkene:

Den opprinnelige profilen ble delt opp med areal på 95 cm² og tykkelse på 40 mm. Grunnen til at arealet ikke var like stort som testen krever, er fordi profilen var 95 mm bred. Prøvestykkene var massive og overflatene som ble eksponert for stråling plane, tilsvarende overflaten for et trevindu.

Strålenivåer:

Strålenivåer ble valgt på bakgrunn av ISO 5660-1, der det oppgis at typiske strålenivåer er 25, 35, 50 og 75 kW/m². Ut fra dette ble det bestemt at prøvestykkene skulle testes for 25, 35 og 50 kW/m². I sammenheng med et brannforløp er dette strålenivåer som tilsvarer stråling etter at overtenning er inntruffet.

Antall prøvestykker:

Etter ISO 5660-1(E) skal det testes 3 prøvestykker på hvert strålenivå.

Metode måling av HCl (saltsyre) [9]

Utstyr: "Dräger - rør saltsyre 50/a" med Dräger accuro handpumpe.

Måleområde: 500- 5000 ppm.



Figur 7. Dräger accuro handpumpe og prøverør.

Bruksområde:

Brukes til å bestemme saltsyre i luft eller tekniske gasser.

Gyldighet:

Temperatur: 10- 50 °C

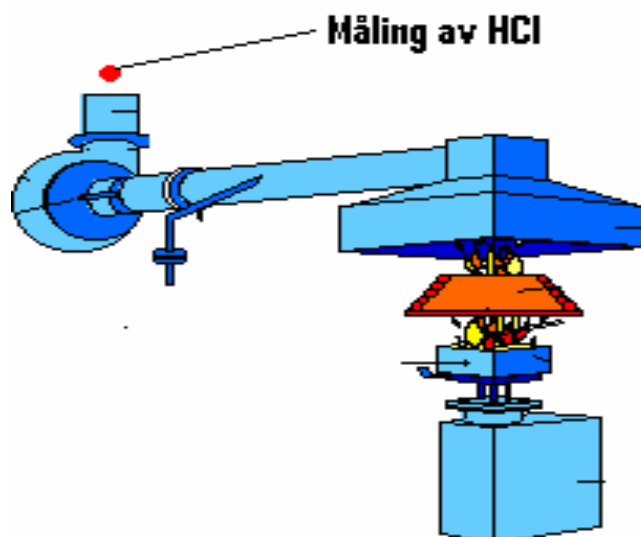
Fuktighet: maks 65 % relativ fuktighet ved 25 °C.

Standardavvik: +(-) 10...15%.

Metode/utførelse av HCl - måling:

1. Det ble før hver måleserie testet at pumpen var tett ved å sette ett uåpnet Dräger rør inn i pumpen og sett vakuum på dette.
2. Begge spissene på prøverørene ble knekt av, den ene enden ble sett inn i pumpen, mens gassene ble sugd inn gjennom den andre enden.
3. Dersom ingen visning ved første pumpeslag, pumpes flere ganger for så å dividere målt verdi på antall pumpeslag. Varighet av et pumpeslag skal ca være 30sekunder.
4. Leser av fargeendring, som skal være hvit ved HCl.
5. Pumpen renses etter bruk ved å ta et par ekstra pumpeslag.

Målinger av HCl ble i dette forsøket tatt i ”enderøret” av konkalorimeteret. Dette er vist av figur 8. Målingene ble utført i dette område for å ligge innenfor begrensningene for temperaturer gitt av Dräger.



Figur 8. Område for måling av HCl.

3.2.3 Resultater

Forsøk med PVC:

For PVC profilene ble det som planlagt utført 3 forsøk på hvert av strålenivåene 25, 35 og 50 kW/m². Som vist i tabell 9 varierer prøvestykkene noe. Dette kommer av at flere av profilene som ble testet hadde forskjellig oppbygging med ”lag” av PVC innvendig.

Tabell 9. Forsøk med prøvestykker av PVC i konkalorimeter.

Forsøk nr	Strålenivå	Tykkelse	Areal	Vekt før (Uten folie)	Vekt før (Med folie)	Vekt etter (Med folie)
1	25 kW/m ²	16 mm	100 cm ²	72,92 g	73,6 g	57,70 g
2	25 kW/m ²	15 mm	100 cm ²	58,25 g	58,8 g	39,80 g
3	25 kW/m ²	13 mm	100 cm ²	57,72 g	58,2 g	39,10 g
4	35 kW/m ²	13 mm	100 cm ²	58,8 g	59,3 g	22,8 g
5	35 kW/m ²	16 mm	100 cm ²	74,2 g	74,9 g	37,3 g
6	35 kW/m ²	20 mm	100 cm ²	64,1 g	65,3 g	20,2 g
7	50 kW/m ²	20 mm	100 cm ²	64,2 g	65,1 g	8,6 g
8	50 kW/m ²	13 mm	100 cm ²	57,30 g	57,8 g	28,40 g
9	50 kW/m ²	14 mm	100 cm ²	58,23 g	58,7 g	7,90 g

Forsøk med tre:

Det var planlagt å utføre 3 målinger på hvert av strålenivåene 25, 35 og 50 kW/m² for prøvestykkene av tre. Det ble derimot kun utført 2 tester ved 50 kW/m² stråling, dette grunnet problem med måleinstrument.

Tabell 10. Forsøk med prøvestykker av tre i konkalorimeter.

Forsøk nr	Strålenivå	Tykkelse	Areal	Vekt før (Uten folie)	Vekt før (Med folie)	Vekt etter (Med folie)
1	25 kW/m ²	40 mm	95mm ²	156,9 g	158,1 g	96 g
2	25 kW/m ²	40 mm	95mm ²	155,7 g	156,7 g	97 g
3	25 kW/m ²	40 mm	95mm ²	168,1 g	169,5 g	110,4 g
4	35 kW/m ²	40 mm	95mm ²	153,8 g	155 g	85,9 g
5	35 kW/m ²	40 mm	95mm ²	159,8 g	162,3 g	74 g
6	35 kW/m ²	40 mm	95mm ²	173,4 g	174,4 g	99,5 g
7	50 kW/m ²	40 mm	95mm ²	174,5 g	176 g	115 g
8	50 kW/m ²	40 mm	95mm ²	163,3 g	163,3 g	80 g

For hvert prøvestykke som ble testet ble det registrert en rekke forhold:

Tid til antennelse:

PVC:

Det en ser av forsøkene er at antennelsen ikke uventet er svært avhengig av strålenivå. Ved strålenivå på 25 kW/m^2 var tid til antennelse mellom 1-2 minutter, mens den ved 50 kW/m^2 var rundt 20 sekunder.

Tre:

Som ved PVC, er tid til antennelse svært avhengig av strålenivået. Prøvestykkene av tre antente i snitt av de 8 forsøkene med 3 forskjellige strålenivåer, etter 31,5 sekunder. For PVC var gjennomsnittet 54,2 sekunder etter henholdsvis 9 forsøk.

Forbrenning:

PVC:

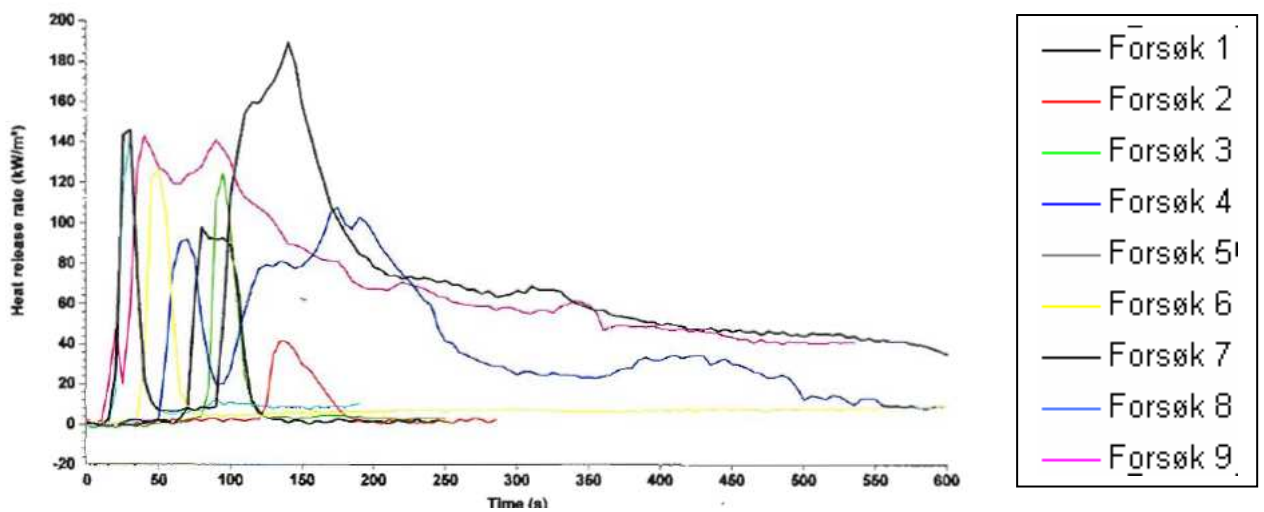
Forbrenningen av prøvestykkene i PVC varierte. Noen prøvestykker brant forholdsvis kort etter antennelse, mens andre brant til hele prøvestykket var forkullet. Dette kommer av at prøvestykkene ikke var identiske innover i profilen. Prøvestykkene med større avstand mellom de innvendige "lagene", brant kortere enn de med tettere og flere "lag". Variasjon i profilene er gitt i figur 9 og 10 under. Figur 11 viser stråling, hvor mye varme brenselet (PVC) frigjør ved forbrenning. Dette er gitt i kW/m^2 . Som en ser av figuren blir det frigjort størst mengde varme ved antennelse av materialet.



Figur 9. Profil med 3 "lag" PVC.



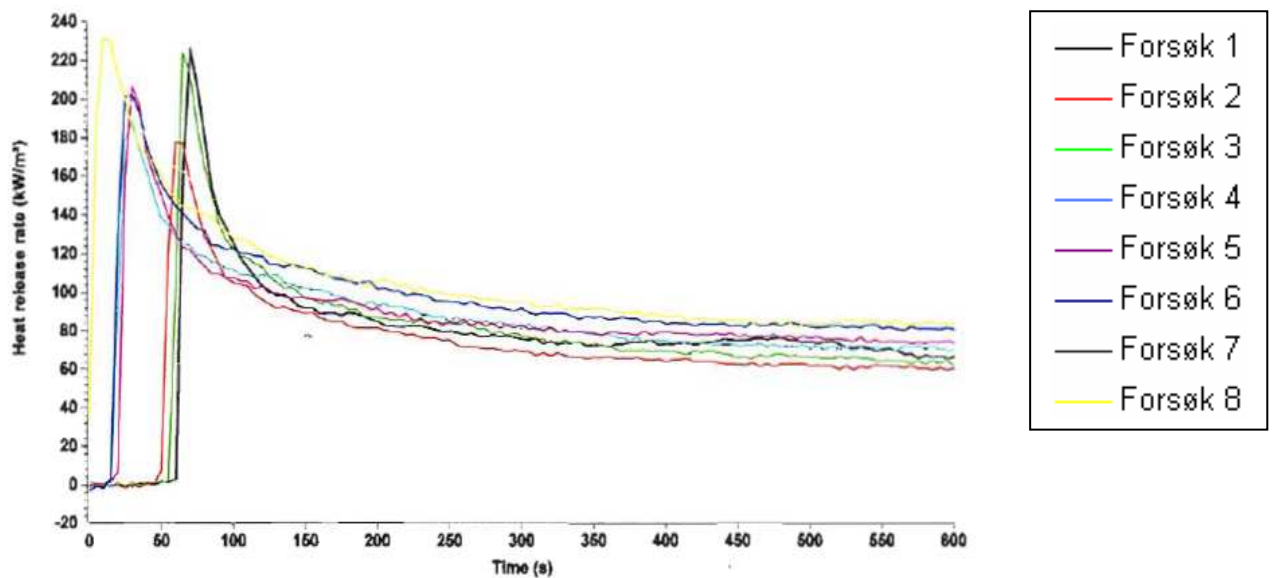
Figur 10. Profil med 2 "lag" PVC.



Figur 11. Varme frigjort ved forbrenning av PVC, hentet direkte fra konkalorimeter.

Tre:

Prøvestykkene i tre hadde ganske like brannforløp. Prøvestykker utsatt for størst stråling antente tidligere og avga mer varmestråling. Dette vises av figur 12.

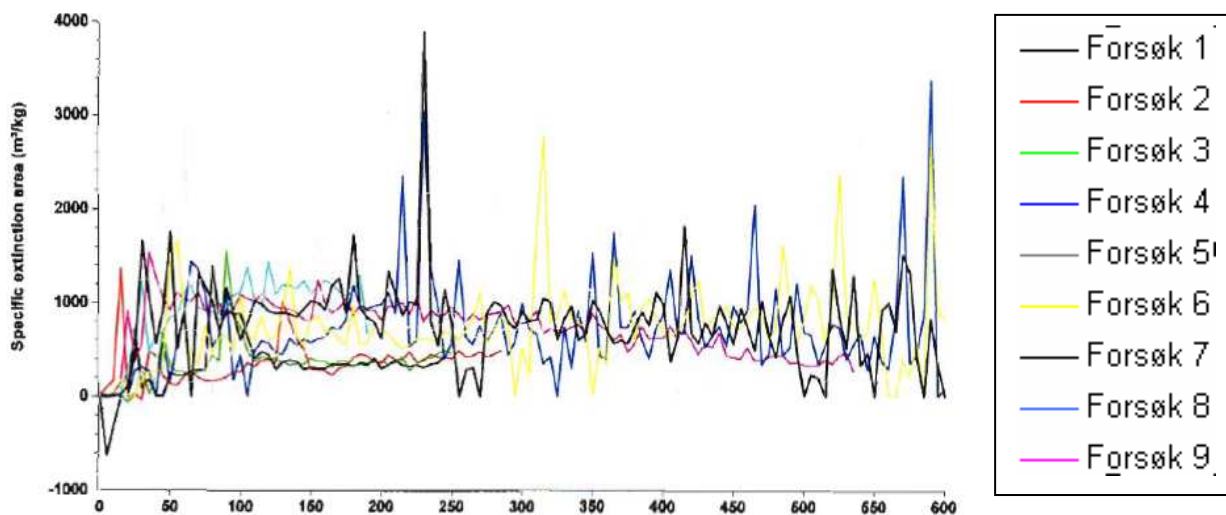


Figur 12. Varme frigjort ved forbrenning av tre, hentet direkte fra konkalorimeter.

Røykavgivelse:

PVC:

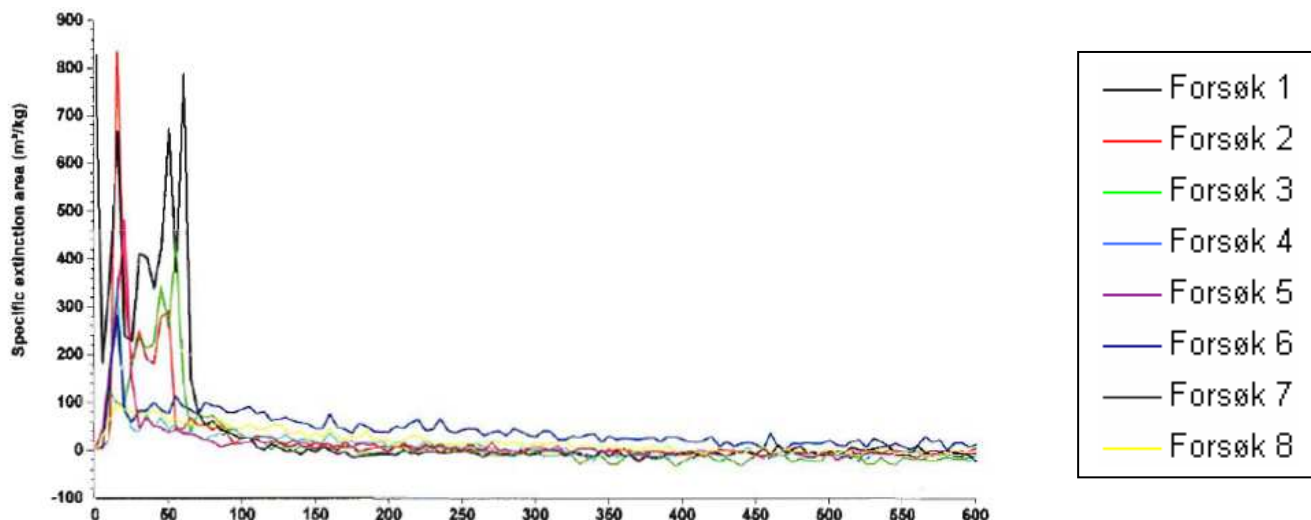
Gjennom hele brannforløpet ble det observert forholdsvis store mengder røyk. Røykavgivelse er oppgitt i m^2/kg i figur 13. En ser av figuren at røykavgivelsen er pulserende, og varierer mellom ca 0-2000 m^2/kg . Figuren stemmer med observasjoner.



Figur 13. Røykavgivelse PVC profil, hentet direkte fra konkalorimeter.

Tre:

Røykavgivelsen fra prøvestykket av tre var svært begrenset i forhold til røykavgivelsen fra PVC. Som en ser av figur 14, er røykavgivelsen til profilen av tre lavere enn PVC gjennom hele brannforløpet. Etter antennelse stabiliserer røykavgivelsen seg og ligger mellom 0-100 m^2/kg . Dette stemmer godt overens med observasjoner, der røykavgivelsen ble observert høyest rundt antennelse.

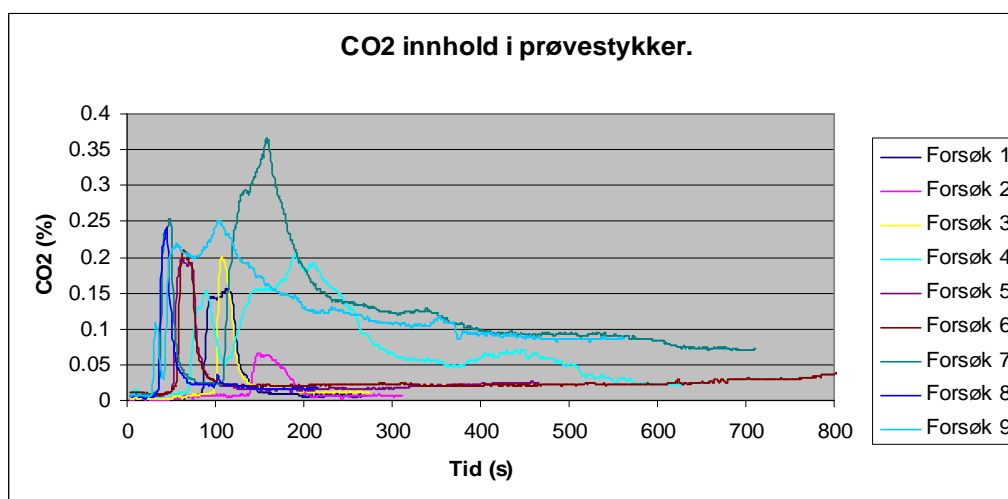


Figur 14. Røykavgivelse profil av tre, hentet direkte fra konkalorimeter.

CO₂ målinger:

PVC:

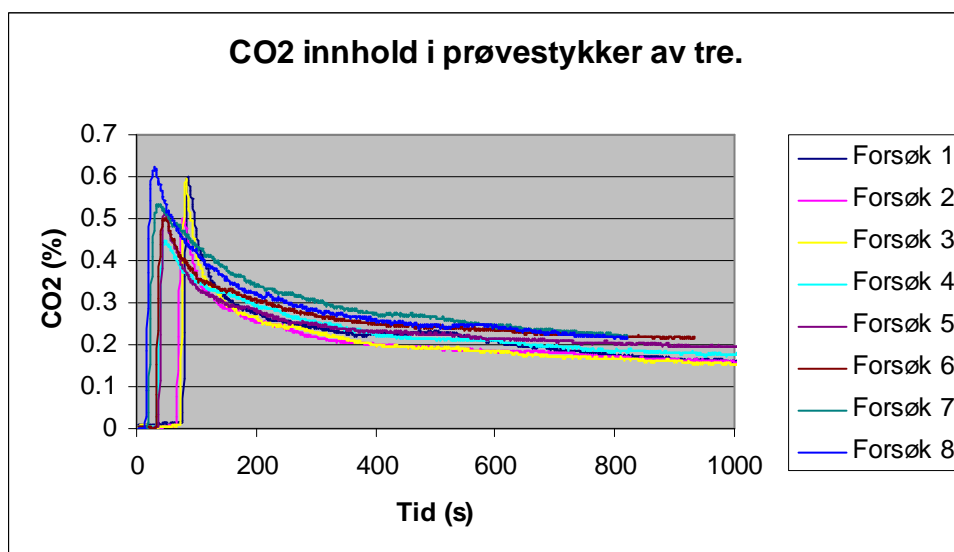
Innholdet av CO₂ i branngassene ble automatisk målt av konkalorimeteret. Som skissert av figur 15 var innholdet av CO₂ i røyken relativt lavt gjennom hele brannforløpet. På det høyeste var CO₂ nivået opp i 0,35 % ved stråling på 50 kW/m², som tilsvarer 3500 ppm. Disse konsentrasjonene vil i seg selv ikke virke inn på personer som oppholder seg i nærheten ettersom en minimum må opp i 2 % før en opplever problemer med å puste[6].



Figur 15. CO₂ innholdet i forbrenningsgassene til PVC prøvestykker.

Tre:

Figur 16 viser innholdet av CO₂ i røykgassene fra forbrenningen av tre. Av figuren ser en at det er størst utslag rett etter antennelse, for så å minke ettersom forbrenningen avtar. På det høyeste var konsentrasjonen av CO₂ 0,6 %, dette tilsvarer 6000 ppm. Dette er, som ved PVC, ikke store nok konsentrasjoner i seg selv til å utgjøre en risiko for mennesker.

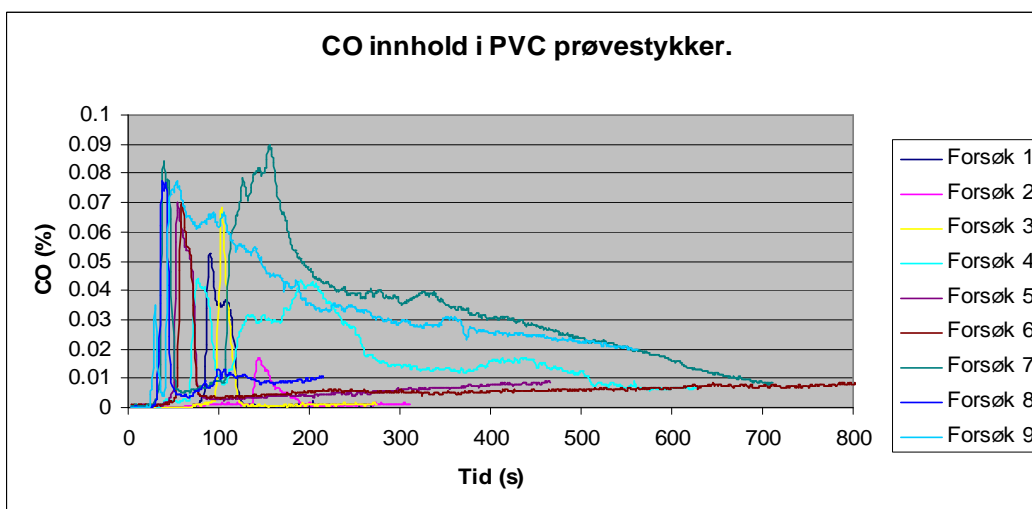


Figur 16. CO₂ innholdet i forbrenningsgassene til prøvestykker i tre.

CO målinger:

PVC:

Innholdet av CO i branngassene ble automatisk målt av konkalorimeteret. Som figur 17 viser, er CO - innholdet i røykgassene maksimalt 0,09 % i forsøkene, tilsvarende 900 ppm. Dette var forsøket med det høyeste strålenivået på 50 kW/m². Disse konsentrasjonene er forholdsvis lave, ettersom en etter 15 minutter ved konsentrasjoner på 1000-1200 ppm vil oppleve ubehag, og etter en time kan død forekomme[6]. Tabell 6 sier noe om virkning CO har på mennesker ved innånding.

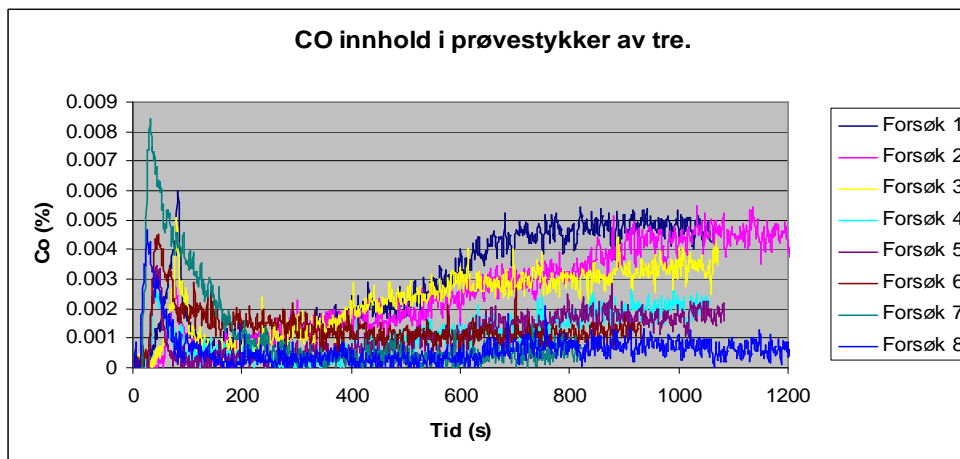


Figur 17. CO innholdet i forbrenningsgassene til PVC prøvestykker.

Tre:

Vist av figur 18 er målingene av CO noe ujevne. Konsentrasjonen av CO øker ved antennelse, for så å avta og deretter øke mot slutten igjen. Dette gjelder spesielt de prøvestykkene med lavest strålenivå, det vil si 25 kW/m². Dette kommer antakelig av mindre effektiv forbrenningen ved lavere strålenivåer, som gir mer CO.

Konsentrasjonen av CO er maksimalt 0,0085 %, som tilsvarer 85 ppm. Dette er under kritisk CO nivå for mennesker.



Figur 18. CO innholdet i forbrenningsgassene til prøvestykker i tre.

HCl målinger:

PVC:

HCl - målingene ble gjort i område skissert i figur 10. Det ble under alle forsøkene målt temperaturer med termoelement i området hvor HCl testen fant sted. Temperaturene lå i området 25- 40 °C. HCl nivået ble målt ved forskjellige tider i forbrenningsprosessen og som en ser av resultatene, er de høyeste verdiene målt i tidsområde der antennelse av materialet inntraff. Verdiene var da i størrelsesorden 1000 ppm - 2500 ppm.

Når det gjelder giftigheten til HCl er det ut fra tabell 7 og tabell 8 oppgitt ulike konsentrasjoner av HCl som kan være dødelige. Etter tabell 7 ligger konsentrasjonene målt i forsøkene under det som er dødelig, mens tabell 8 angir disse konsentrasjonene for over det som er dødelig.

Tre:

Det ble utført HCl målinger på flere av prøvestykkene, men ingen utslag ble observert.

3.3 Fullskalaforsøk i test rom

Fullskalaforsøk ble utført i testrom ved området til ResQ i Haugesund.

3.3.1 Formål

For å kunne si noe om hvordan PVC vinduet oppfører seg ved påvirkning av en brann, vil en simulert brann i et testrom være en god indikator.

3.3.2 Materiell- metoder

Forsøket ble gjennomført med ett nytt PVC vindu. Det ble og gjennomført et forsøk med et brukt trevindu for å se påvirkningen brannen har på dette. Ettersom det er PVC vinduet som står i fokus, vil trevinduet kun bli brukt som en sammenligning.

Geometri rommet:

Høyde = 2, 2 m, bredde = 2, 4 m og lengde = 3, 4 m.

Åpninger:

Rommet har 2 vindusåpninger. Den ene ble brukt til plassering av vindu og den andre til ventilering av røyk og observering.

Vinduer:

PVC vindu: Vinduet som ble brukt i forsøket var et tolags PVC vindu fra REHAU, med mål 1600 mm x 1600 mm og fast karm.

Trevindu: Vinduet som ble brukt i forsøket var ett brukt tolags trevindu med mål 1200 mm x 1200 mm med fast karm.

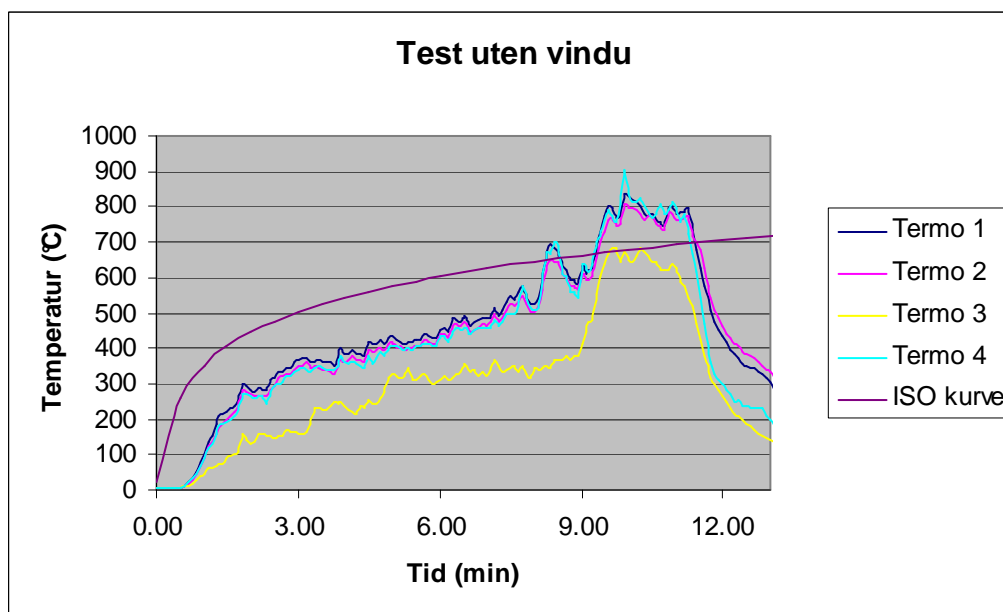
Bygningsmaterialet test rom:

Siporex.

Brannen:

Et kar med n - heptan[C₇H₁₆] ble plassert midt i rommet (1,45m fra vinduene og 0,95m fra sideveggene). Bilde av plasseringen av karet er gitt i figur 20. Målene på karet er henholdsvis; bredde 0,5m, lengde 0,5m og høyde 0,15m. Det ble brent 32,5 liter med heptan i begge forsøkene.

Før forsøkene med vindu ble gjennomført, ble det foretatt en testbrann med samme brannkar som skulle brukes i selve forsøkene. Dette ble gjort for å undersøke om brannutviklingen kan være representativt for et normalt brannforløp, der overtenning oppstår etter rundt 5 minutter. Etter ISO 834 - kuven har en da temperaturer på rundt 600 °C. Temperaturer på rundt 500-600°C er ofte et av kjennetegnene for at overtenning er nær eller har inntruffet. Et annet formål med testbrannen, var å tørke opp testrommet slik at det ble mest mulig like forhold under begge forsøkene. Figur 19 viser temperaturutviklingen til testbrannen.



Figur 19. Testbrann.

Testbrannen vil ta bort mye av fuktigheten som ligger i materialet til testrommet. Ble dermed bestemt å bruke denne størrelse på brannen, med antakelse av at neste forsøk ville gi høyere temperatur opp mot ISO 834 brannkurven.



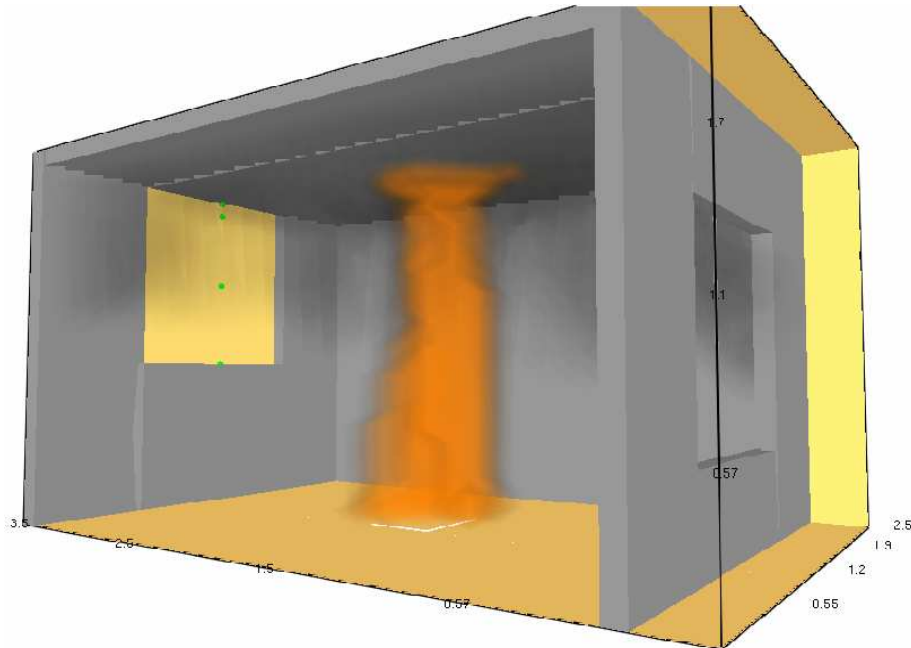
Figur 20. Plassering av kar med heptan i midten av testrommet.

Måleinstrumenter:

Det ble brukt termoelementer til å måle temperaturer i forskjellige høyder rundt vindusprofilen. Avstand fra taket til plassering av termoelementer er henholdsvis; 0,01 m, 0,1 m, 0,62 m og 1,20 m. Grønne prikker ved vindu i figur 21 angir plasseringen av termoelementene. Det ble også plassert et termoelement inne i toppen av vindusprofilene og et inne i ene siden av vindusprofilene. Temperaturutvikling ble logget fortløpende, og vist som resultater i grafer.

Ved bruk av termoelementer har en mulighet til å følge utviklingen av temperaturene i røykgassene fra brannen, samtidig som en ser på hvordan vindusprofilen innvendig blir oppvarmet.

Rommet med plassering av vinduer, termoelementer og brannen er skissert i figur 21. Figuren er laget ved hjelp av CFD(Computational Fluid Dynamics) moduleringsprogrammet FDS(Fire Dynamics Simulator).



Figur 21. Skisse av testrommet.

Dokumentasjon:

Hele forsøket ble filmet fra to forskjellige vinkler. Det ene kameraet plassert med innsyn gjennom åpning i vegg, mens det andre filmet på utsiden av vinduene, se vedlegg C. Filmene ble sammen med egne observasjoner brukt til å evaluere forsøket.

Observasjoner:

- Hva skjer etter antenningen; forkulling, nedsigning og lignende.
- Faller selve glasset ut av rammen.
- Gjennomtrenging av røyk gjennom vinduet.

Selv om det ikke er et brannvindu som blir testet er det en fordel at vinduet opprettholder sin opprinnelige form lengst mulig. Med dette menes at hele glasset ikke faller ut av rammen. Ved høye temperaturer vil glasset sprekke, men konsekvensene med tanke på brann- og røykspredning blir mye større dersom hele vindusglasset skulle falle ut. Målet med forsøket var å se på oppførselen til vinduene gjennom et simulert brannforløp som kan opptre ved husbrann. Et kriterium var å prøve å få brannen mest mulig lik ISO-834 brannkurven. Denne kurven benyttes i internasjonal sammenheng til standard fullskalaforsøk for å teste produkter under de samme forutsetningene.

Vinduene ble montert etter byggedetaljblad 523.702 fra byggforsk [10]:

Plassering av festepunktene:

Vinduer av vanlig størrelse festes bare i sidekarmene, ca. 100–150 mm fra topp og bunn. Sidehengslede vinduer bør festes ved hengslene, slik at kreftene som overføres fra rammen via hengslene, føres direkte inn i veggen.

Innfesting av trevinduer:

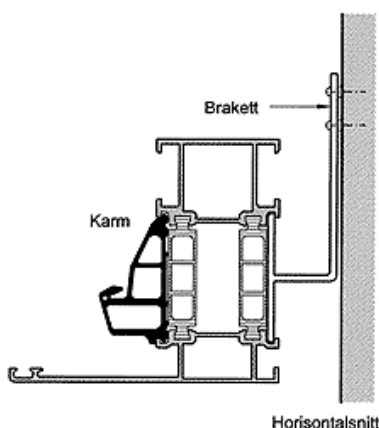
Spikring er en tradisjonell måte å feste trevinduer på, men det er vanskelig å etterjustere vinduet uten å måtte sage over spikerfestene. Det anbefales derfor ikke å feste vinduer med spiker. Hvis man likevel spikrer, må det brukes nøye tilpassede klosser, eventuelt doble kiler av tre eller plast. De kan plasseres i monteringsfugen på oversiden av spikeren slik at klossene ikke faller ned dersom de løsner.

Montering av trevinduet ble gjort med doble kiler og spiker (3.4 x 95). Innfesting i sidekarmene oppe og nede samt i toppen av profil.

Innfesting av metall- og plastvinduer:

Metall- eller plastvinduer kan festes til veggen med skruer eller hylser direkte gjennom forborede hull i sidekarmene. Hullene må alltid lages avlange for å tillate noe bevegelse i profilene ved temperaturendringer. Vinduene kan også festes ved hjelp av braketter eller festeankere som tres inn i spor i profilene (se figur 22). Man unngår da å bore hull i karmprofilene, og temperaturbevegelser kan tas opp uten at vinduet kommer ut av posisjon i veggen.

Montering ble gjort med festebraketter som hører til vinduet, disse ble skrudd fast i veggen. Innfesting ble gjort i sidekarmer oppe og nede samt i toppen av profil.



Figur 22. Eksempel på innfesting av metall- og plastvinduer med braketter [10].

Tetting rundt vinduene:

Det ble tettet igjen med steinull isolasjon (Rockwool) rundt vindusprofilen.

Ferdig montert vindu av PVC er gitt i figur 23 og 24 og ferdig montert vindu av tre er gitt i figur 25 og 26.



Figur 23. Montert PVC vindu fra innside.



Figur 24. Montert PVC vindu fra utside.



Figur 25. Montert trevindu fra innside.

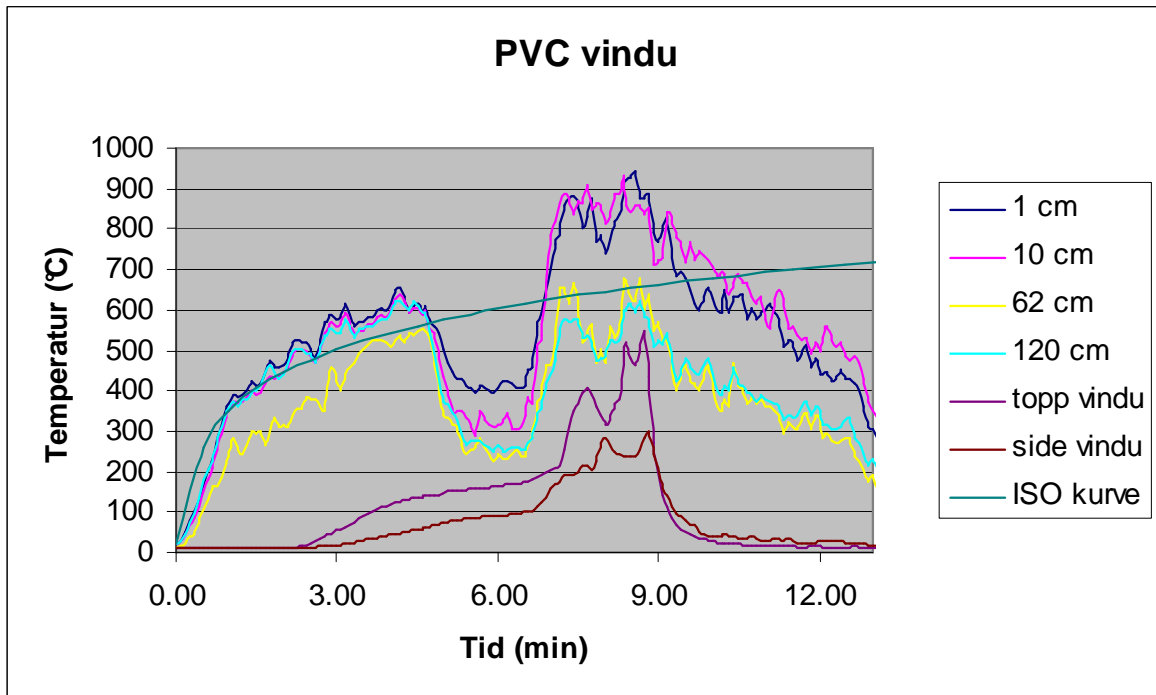


Figur 26. Montert trevindu fra utside.

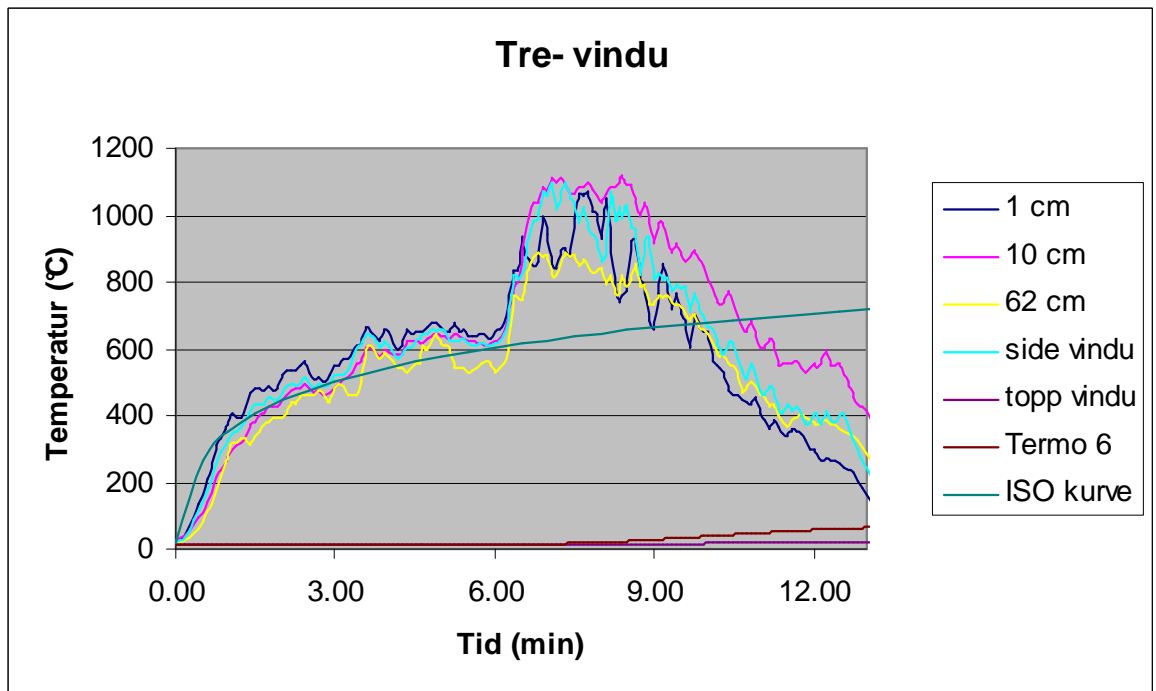
3.3.3 Resultater

Brannforløpet:

Målet var å få brannforløpene mest mulig lik hverandre og mest mulig lik ISO-834 brannkurven. Som en ser av figur 27 og figur 28 under er brannforløpene veldig like, samtidig som de følger ISO-834 brannkurven frem til overtenning oppstår. Unntaket er at temperaturene i brannforløpet med PVC vinduet har en nedadgående utvikling etter 4 min og 46 sekunder. Etter å ha sett gjennom filmene fra forsøket er forklaringen at ved dette tidspunktet knuste hele glasset i PVC vinduene. Glasset tok med seg termoelementene, slik at de ble hengende i en lavere høyde. Dette vil ikke ha innvirning på resultatet, ettersom målt temperaturutviklingen er korrekt helt frem til glasset knuser. Det er denne temperaturutviklingen som er av interesse ettersom det er vinduene som blir testet. Likevel kan en se av både grafen for tre og PVC at en får kraftig temperaturøkning mellom 6-7 minutter. Brannen for PVC har sannsynligvis samme utvikling som grafen for tre, men det ble misvisende ettersom termoelementene falt ned.



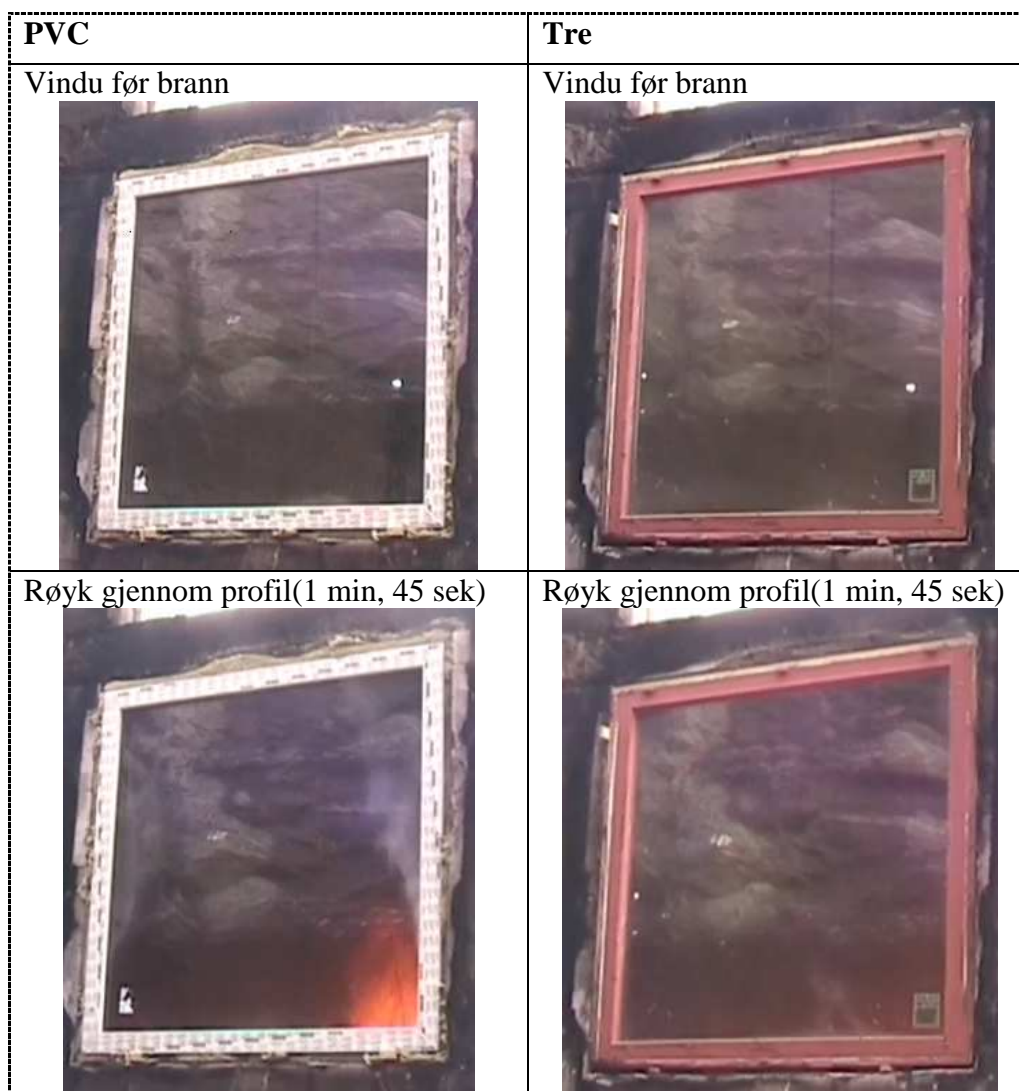
Figur 27. Temperaturutvikling for brann med PVC vindu.

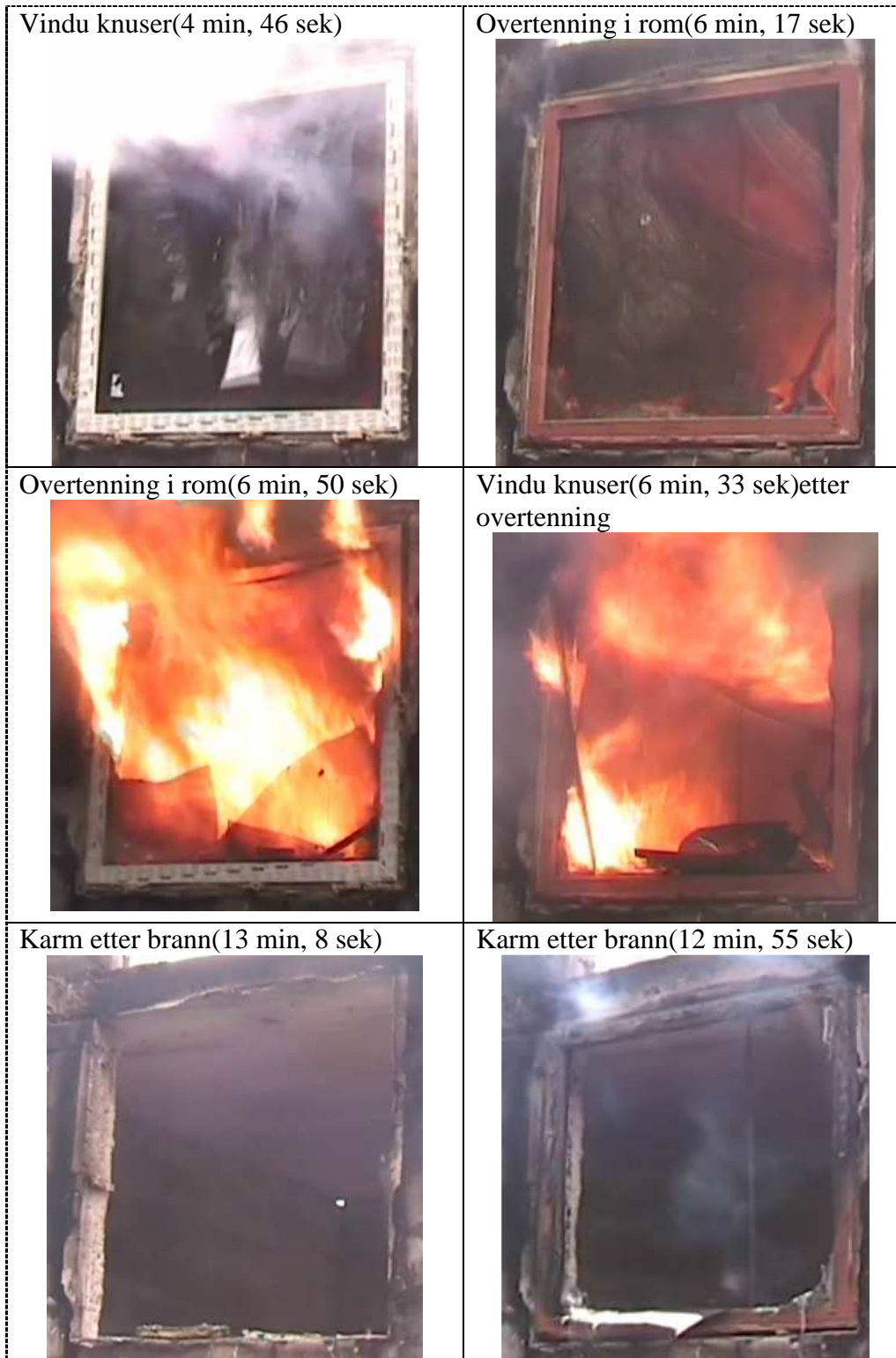


Figur 28. Temperaturutvikling for brann med trevindu.

Tabell 11. Observasjoner gjort under forsøkene.

<i>Tid</i>	PVC	Tre
0 min	Brannen starter.	Brannen starter.
1 min 46 sek.	Røyk gjennom profil	Røyk gjennom profil
4 min 46 sek.	Vindu knuser	
6 min 17 sek.		Rommet overtenner
6 min 33 sek.		Vindu knuser.
6 min 50 sek.	Rommet overtenner	
12 min 55 sek.		Brenselet tar slutt
13 min 8 sek.	Brenselet tar slutt.	





Figur 29. Bilder hentet av film fra forsøk i test rom.

3.4 Oppsummering av forsøkene og diskusjon

Etter gjennomføring av alle forsøkene er det kommet frem til flere klare resultater knyttet til parametrene som skulle undersøkes. Likevel vil flere av resultatene kreve videre testing innen det kan dras endelige konklusjoner.

3.4.1 Småskalaforsøk på brannlaboratoriet

Forsøkene i småskalaforsøk på brannlaboratoriet slo fast at profilen av PVC forkullet ved forbrenning. Det forekom ingen brennende dråper fra profilen og den opprettholdt ikke forbrenningen etter fjerning av ekstern varmekilde. Tetningslistene til profilen hadde derimot ikke de samme egenskapene. Disse brant også etter at propanbrenneren ble fjernet og det forekom en del brennende dråper. Forsøkene indikerte at brannen i tetningslistene ikke avga nok varme til å antenne PVC materialet i profilen. Profilen av tre forkullet og opprettholdt forbrenningen etter at ekstern varmekilde ble fjernet.

Når det gjelder antennelsestemperaturene er disse resultatene noe usikre. Profilen i tre antente rundt 450 °C og profilen av PVC rundt 350 °C. Grunnen til dette ligger hovedsakelig i geometrien til prøvestykkene. Profilen av tre var massiv med tykkelse på 4 cm, mens PVC profilen var bygd opp av flere "lag" PVC med luftspalter mellom.

Testmetoden:

Forsøket ble ikke utført etter standardisert testmetode. Det knyttes dermed noe usikkerhet i sammenligningsgrunnlaget for antennelsestemperaturene ut fra forsøket, med målte temperaturer fra andre kilder. Metoden gir likevel et godt anslag av antennelsestemperaturen for materialet, ettersom tendensen gjennom flere prøvestykker var den samme.

Temperaturene ved antenning ble målt direkte på overflaten til materialet. Er dermed mulig at branngassene rett under materialet hadde noe høyere temperaturer.

Når det gjelder testingen av forkulling, dråpedannelse og forbrenning etter fjerning av ekstern varmekilde, er dette kun utført med visuelle observasjoner siden dette er et forsøk med få feilkilder.

Antennelsestemperatur:

Ut fra tabell 1 i kapittelet 2.4 PVC generelt, er det angitt antennelsestemperaturer for flere materialer. Disse temperaturene er basert på standarden ASTM D 1929.

Antennelsestemperaturen for PVC ligger ut fra deres testmetoder på 390 °C, mens antennelsestemperatur for furu ligger på 240 °C [1]. Antennelsestemperaturen for treprodukter varierer etter hvilke kilde de kommer fra. Det er målt antennelsestemperaturer i området 200 - 525 °C ved pilotantennelse[12]. Forsøk gjort av Dr. Vytenis Babrauskas har

konkludert med at laveste antennelsestemperatur for tre er 250 °C ved eksponering på noen timer.[12]

Av resultatene ut fra forsøk utført i brannlaboratoriet, ble det observert at antennelsestemperaturen for treprofilen ligg omtrent 100 °C over PVC profilen. Dette stemmer dårlig med verdier funnet i tabell 1. Det skal da sies at antennelsestemperaturene ikke er en materialkonstant, spesielt ikke for uhomogene materialer som f.eks. tre. Temperaturen til antennelse vil variere avhengig av materialets tilstand, tetthet og geometri, samt egenskapene til antennelseskilden.

Geometrien i dette forsøket er en viktig faktor. Profilen av tre er massiv med tykkelse på 4 cm, mens PVC profilen er delt opp i flere tynne "lag" med luftlommer i mellom (se figur 30 og 31).



Figur 30. PVC profil med flere luftlommer



Figur 31. Profilen av tre.

Det at tykkelsen spiller inn ser en og ut fra tiden det tar til prøvestykkene antenner. Samtidig som temperaturen til antennelse var høyere for treprofilen, var også tiden til antennelse lenger. Ved mer massiv profil vil varmetapet nedover i materialet bli større og dermed gi en tregere oppvarming på overflaten slik at tilstrekkelig avgassing finner sted. PVC profilen varmes raskt opp gjennom de tynne ”lagene” og antente dermed forholdsvis hurtig ved temperaturer rundt 350 °C.

Tilstanden til materialet vil virke inn på resultatet. Når det gjelder fuktighetsinnholdet i treprofilen, er dette ukjent. Profilen har vært innendørs til avklimatisering i minimum 3 uker før forsøk ble gjennomført. Vil dermed antas at fuktinnholdet er tilsvarende for et ferdig montert vindu i nyhus. Profilen av tre er overflatebehandlet med krystall impregneringsvæske mot sopp og råte. Mye av impregneringen består av white-spirit. Dette vil kunne ha innvirkning på brennbarheten.

Fjerning av ekstern varmekilde:

Ved fjerning av ekstern varmekilde (gassbrenneren) opprettholdt ikke forbrenningen i profilen av PVC. PVC profilen inneholder ca 56 % klor. Dette vil gjøre at forbrenningen ikke kan opprettholdes uten økt oksygeninnhold eller påvirkning av ekstern varmekilde, gitt av LOI verdien til PVC som er på 45-50 (se tabell 2). Profilen av tre opprettholdt forbrenning etter at ekstern varmekilde ble tatt bort, forbrenningen var likevel begrenset Dette stemmer godt med LOI verdien for tre som er på 21-22 (se tabell 2), og vil dermed kunne opprettholde forbrenning ved normale oksygenkonsentrasjoner.

3.4.2 Forsøk i konkalorimeter

Etter forsøk i konkalorimeter kan en med sikkerhet si at det avgis mer røyk ved forbrenning av PVC enn tre. Dette ble observert både visuelt og ved måling av røykavgivelse gitt i figur 13 og figur 14. Røykgassene fra PVC inneholdt saltsyre (HCl). Det ble målt konsentrasjoner rundt 2500 ppm på det høyeste. Dette er konsentrasjoner som avhengig av eksponeringstid kan være dødelige for mennesker (se tabell 5, 7 og 8). Konsentrasjonene av CO₂ var høyere for prøvestykkene i tre enn prøvestykkene i PVC gjennom hele brannforløpet (se figur 15 og 16). Maksimale konsentrasjoner for tre og PVC var henholdsvis; 6000 ppm og 3500 ppm. Konsentrasjonene av CO var omtrent 10 ganger høyere for PVC enn tre (figur 17 og 18), og med maksimal verdi på henholdsvis 900 ppm og 80 ppm. Konsentrasjonene for CO og CO₂ er forholdsvis lave i forhold til kritiske verdier (tabell 5 og 6).

Det er en tendens i konkalorimeteret at prøvestykkene i tre antenner tidligere enn prøvestykkene i PVC (se figur 11 og 12). Dette motstrider resultatene fra småskalaforsøk i brannlaboratoriet der en såg motsatt tendens. Årsak kan være betydelig forskjell i strålenivå på de ulike type forsøksmetodene. Forsøket i brannlaboratoriet ble utført med temperaturer rundt antennelsestemperaturer, mens det i konkalorimeteret var betydelig høyere.

Det som er viktig å få frem etter forsøkene i konkalorimeteret, er at de påkjenningene av varme som prøvestykkene er utsatt for, først vil inntreffe rundt og etter overtenning i et brannforløp. Med tanke på personsikkerhet, er det ikke mulig å oppholde seg i brannrommet ved disse temperaturene, se tabell 12. Giftig røyk fra forbrenning av vinduene i brannrommet vil likevel kunne spre seg til omkringliggende rom, korridorer, ventilasjon og lignende. Dette vil dermed kunne virke inn på folk som rømmer fra bygget, og eventuelt personell som skal utøve redningsinnsats.

Tabell 12. Menneskers respons på temperatur[6].

Temperatur (°C)	Effekt
125	Vanskelig å puste
140	5 minutters toleransetid
150	Temperaturgrense for å kunne evakuere
160	Rask, ulidelig smerte mot tørr hud
180	Irreversibel skade etter 30 sekunder
205	Ånderettssystemet tåler dette mindre enn 4 minutter med våt hud

Det ble planlagt å gjennomføre 3 forsøk for hvert strålenivå av både tre og PVC. På grunn av problemer med konkalorimeteret ble det ved 50 kW/m² stråling gjennomført 2 forsøk på prøvestykkene i tre.

Ved vurdering av resultatene fra konkalorimeteret, må det tas hensyn til en del usikkerheter, dette er:

Tykkelse og geometri på prøvestykkene:

Ettersom prøvestykkene i PVC varierte fra 13mm-20mm, og geometrien varierte fra 2- 3 "lag", resulterte det i en del variasjoner i forbrenningen. Profilene med 3 "lag" brant fullstendig opp, mens de med 2 "lag" kun brant i det øvre laget. Dette kan komme av flere forhold, blant annet at prøvestykkene med høyere masse (3 "lag") vil utvide seg innvendig, og bryte opp forkullingsprosessen i overflaten på prøvestykket. Dette resulterte i at overflatene som ikke er forkullet ble eksponert for varme, og dermed antente.

Måling av HCl:

Konkalorimeteret trekker inn 24 liter luft per sekund. Det vil si at målingene som er gjort av HCl ikke inneholder kun røykgasser, men og blanding med luft. Dette vil og være tilfelle i en brann, der luft vil bli innblandet i røykplumen. Ved å ta målinger helt i enden på konkalorimeteret vil det antas at målingene av HCl vil ligge noe høyere enn de resultatene fått av forsøkene. Dette fordi HCl lett kondenserer, og dermed lett absorberes på alle flater inne i konkalorimeteret.

I følge bruksanvisning for Dräger målerør, kan det forekomme for høye HCl målinger dersom klor (Cl) oppstår samtidig som saltsyre (HCl).

3.4.3 Fullskalaforsøk i testrom

Storskalaforsøket i test rommet på RESQ ble et vellykket forsøk. Brannforløpene til forsøkene med tre-og PVC vindu ble forholdsvis like, og minnet ganske så mye om brannkurver ISO 834 frem til overtenning oppstod (se figur 27 og 28). Forsøket ga en god indikasjon på hvordan PVC vinduet oppfører seg i brann, sammenlignet med et trevindu.

Integritet:

PVC profilen slapp ut røyk tidligere og i større mengder enn det treprofilen gjorde. Av filmdokumentasjonen å dømme, siver røyken ut mellom selve glasset og profilen av PVC. Dette kommer muligens av at PVC smelter og forkuller slik at det blir dannet en liten spalte mellom glasset og selve karmen. Treprofilen beholder sin integritet lenger, slik at denne spalten ikke oppstår så tidlig og dermed vil mindre røyk sive gjennom.

Temperaturene økte atskillig raskere inne i PVC profilen enn treprofilen. Dette kommer hovedsaklig av at PVC profilen har hulrom med luft, mens treprofilen er massiv. Glasset i PVC vinduet knuste etter ca 4 minutter og 46 sekunder, temperaturen var da mellom 600 - 650 °C og overtenning hadde ikke inntruffet. Glasset i profilen av tre knuste etter ca 6 minutter og 33 sekunder, temperaturene var da mellom 650 - 750 °C og overtenning hadde inntruffet. Vinduet av tre holdt dermed selve flammene inne i rommet 1 minutt og 46 sekunder lenger enn vinduet av PVC.

Med tanke på rømningsmessige forhold, ville det under disse forholdene være umulig å oppholde seg i brannrommet. Med tanke på spredning av selve brannen, kan tidsdifferansen gi bedre forutsetninger for slukking og dermed unngå videre spredning fra brannrommet til fasade og lignende. Knust vindu vil gi bedre tilgang på oksygen til brannen. Brannen vil da sannsynligvis øke betraktelig.

Usikkerhet:

Det er likevel verdt å merke seg at det ligger en del usikkerhetsmomenter i slike forsøk. Vær- og vind forhold vil kunne ha innvirkning på brannen. Brannutviklingen, både visuelt og via grafer, viser at forløpene er tilstrekkelig like. Fra produkt til produkt for både PVC og tre, kan det innad variere en del i hvordan vinduet oppfører seg under et brannforløp. Ved å kun utføre et forsøk av hvert vindu, er det ikke sikkert at resultatet er representativt for alle PVC- og trevinduer. Det vil likevel gi en god pekepinne på hvordan vinduene i PVC og tre kan oppføre seg ved gitt branntilfelle. Det at trevinduet ikke var helt nytt og antakelig vil ha noe høyere fuktighetsinnhold enn et nytt vindu, kan også ha en innvirkning på antakelse og forbrenning av vinduet.

4. Konklusjon

Klorinnholdet er med på å hemme antennelseevne og forbrenningen av produkter i PVC. Oppbygningen og geometrien til produktene har svært stor innvirkning på hvor lang tid det tar å nå de temperaturene der dette kan forekomme. Dette ble oppserverte både ved fullskalaforsøk og småskalaforsøk der temperaturen økte betraktelig fortere inne i profilen av PVC enn i treprofilen.

I småskalaforsøkene der prøvestykkene ble utsatt for en pilotantennning var temperaturen lavere og tiden til antennelse kortere for PVC prøvestykkene enn for prøvestykkene av tre. Det kan forøvrig virke som at denne tidsdifferansen utjevner seg når strålenivået nærmer seg det som er vanlig etter at overtenning har inntruffet. Dette ble observert i konkalorimeterforsøket der treprøvestykkene antente raskere enn PVC prøvestykkene. Begge profilene produserte CO og CO₂ i konsentrasjoner under det som kan betegnes som kritisk. PVC profilene produserte i tillegg konsentrasjoner av HCl som kan være skadelig for mennesker.

Vinduet i PVC slapp gjennom mer røyk tidlig i fullskalaforsøket, og vinduet mistet fullstendig sin integritet ca 1 minutt og 46 sekunder tidligere enn trevinduet. Denne tidsdifferansen kan gi trevinduet en fordel med tanke på spredning til fasade og videre brannutvikling inne, da brannen vil få tilgang til mer oksygen.

Det som er viktig å ta med seg når en leser disse resultatene er at tilskuddet til en brann fra vindu, både i tre og PVC er sannsynligvis veldig begrenset. Et vanlig bolighus inneholder fra før store mengder både PVC og tre. Et annet aspekt som er viktig å tenke på når en vurderer resultatene i denne rapporten, er den tiden de ulike målinger er gjort i forhold til temperaturen som opptrer. For at et menneske skal kunne evakuere settes det krav til sikt, temperaturer, stråling, konsentrasjoner av farlige gasser osv. De differansene som ble observert mellom tre- og PVC vinduer i denne oppgaven inntraff hovedsakelig etter kritiske forhold er nådd og evakuering ikke lenger er mulig å gjennomføre.

5. Referanser

- [1] *ASTM D 1929*
- [2] "Flammability Handbook of Plastics" C J Hilado 4. Utgave. 1990
- [3] PVC og miljø. Norsk Hydro AS
- [4] Edgarley P. G. and Pettet. K" the Effect of Pyrolysis and Combustion Temperatures on Smoke Density Fire and Materials." Vol 2 .Nr.1. 1978
- [5] <http://www.kbt.no/>
- [6] [NBL.sintef.no/handbook/kap4.htm](http://nbl.sintef.no/handbook/kap4.htm)
- [7] How hazardous is PVC? M M Hirschler. "Fire prevention, nov 1987"
- [8] <http://nbl.sintef.no/index.html?methods&no&3>
- [9] Bruksanvisning fra Dräger
- [10] Byggedetaljblad 523.702 fra byggforsk
- [11] Informasjon fra Røgenes trevare A/S.
- [12] "Varmegang i elektrisk materiell og utstyr som tennkilde i bygninger", hentet fra Sintefrapport.
- [13] Forventet effekt av faste, aktive slokkeanlegg – Boligsprinkler og vanntåke, sintef rapport.
- [14] http://www.icg.no/shareddoc/%7B65B12492-F0FA-481B-9F29-6369EFF6A930%7D_localinfo_rafnes_2004.pdf
- [15] Purser, D. A., "Toxicity Assessment of Combustion Products". In The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (P. J. DiNenno, Ed.).
- [16] Dougal Drysdale, An introduction to fire dynamics, Wiley.
- [17] Bjarne Christian Hagen, Grunnleggende brannteknikk
- [18] http://www.trefokus.no/Fokus_37_QHpi0.pdf.file
- [19] <http://kptnaturfag.no/search?query=n-heptan>

6. Vedleggsliste

Vedelegg A. Småskalaforsøk på brannlaboratoriet.....	II
Vedelegg B. Forsøk med konkalorimeter.....	V
Vedelegg C. Fullskalaforsøk i test-rom.....	XII
Vedelegg D. Forkortet HMS datablad for n-HEPTAN.....	XIII

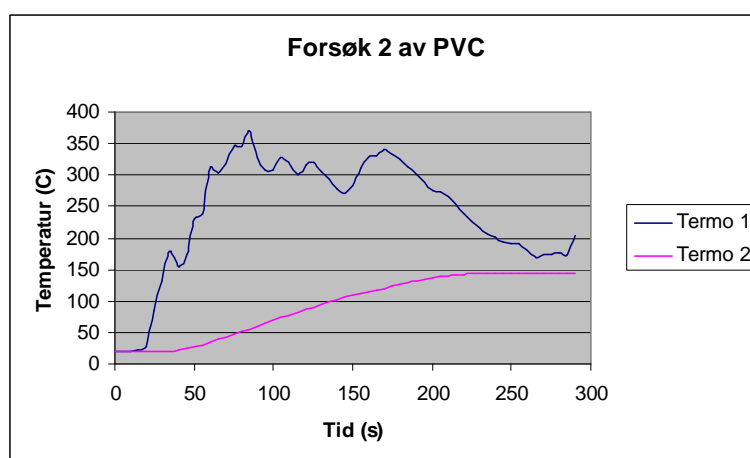
Vedlegg A. Småskalaforsøk på brannlabben

Forsøk prøvestykker i PVC.

Termoelement 1 (Termo 1) plassert på brannekspont side av profilen, mens termoelement 2 (Termo 2) plassert inne i profilen.

Forsøk 2 i PVC:

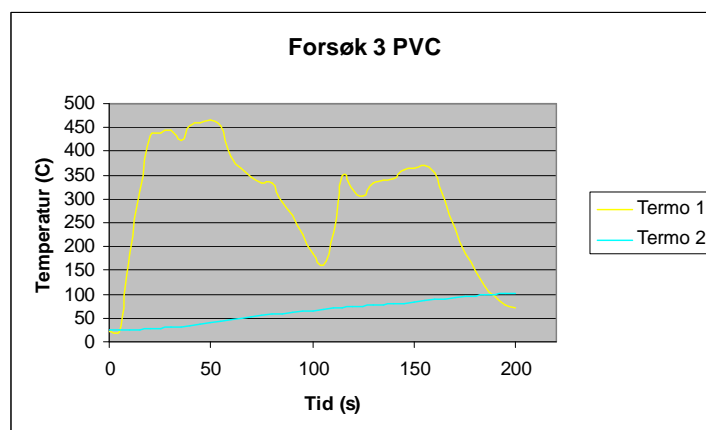
Observerer flere små antennelser når PVC ble varmet opp til rundt 320 - 350 °C. Første tegn til antennelse var etter 90 sekunder. Temperaturen ble lest av figur under ved dette tidspunktet. (Termo1)



Temperaturene under og i profilen.

Forsøk 3 i PVC:

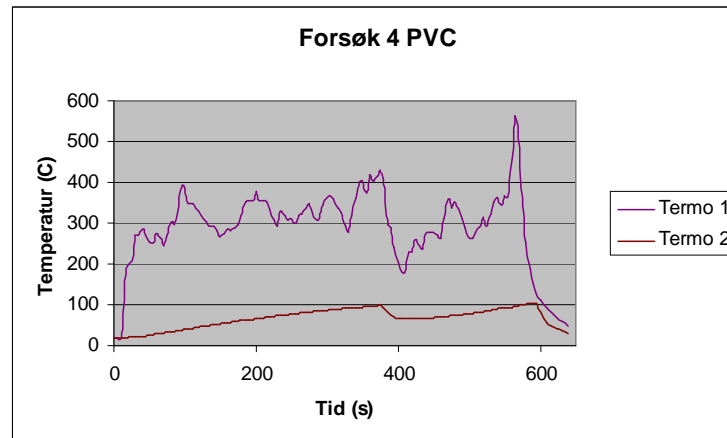
Her ble det satt på relativt høg varme i starten. Fekk dermed antennelse av PVC etter ca 20 sekunder. Det ble regulert på temperaturer mens forsøket pågikk. Fekk antenning igjen etter ca 130 sekunder. Ser da av figur under at temperaturene ligger rundt 350 °C (Termo 1).



Temperaturene under og i profilen.

Forsøk 4 i PVC:

Fikk liten antennelse etter rundt 200 sekunder. Etter 340 sekunder oppstod en ny antennelse, som vedvarte ca 170 sekunder. Temperaturene på overflaten var da ca 350 °C. Justerte på termoelementenes plassering under veis og fikk deretter ny antennelse etter 480 sekunder. Ut fra figur under ligger temperaturene da rundt 350 °C. Etter 540 sekunder kom den siste antenningen. Temperaturene var da også ca 350 °C. Etter dette steg temperaturene og forbrenningen ble vedvarende i 30 sekunder.



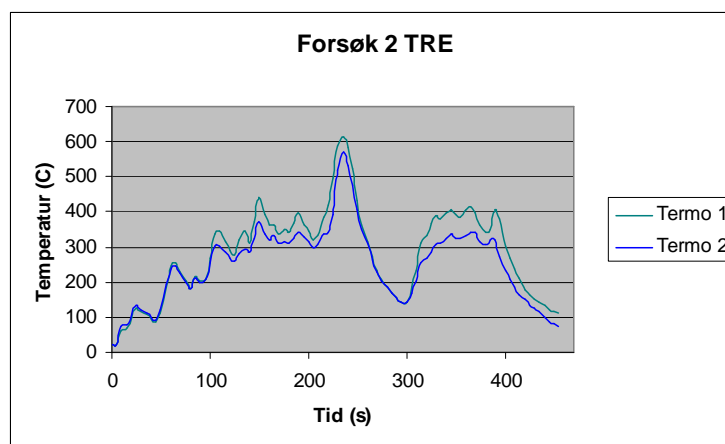
Figur 17. Temperaturene under og i profilen.

Forsøk med prøvestykker i tre:

Både termoelement 1(Termo 1) og termoelement 2(Termo 2) plassert på brannekspontert side av profilen.

Forsøk 2 i tre:

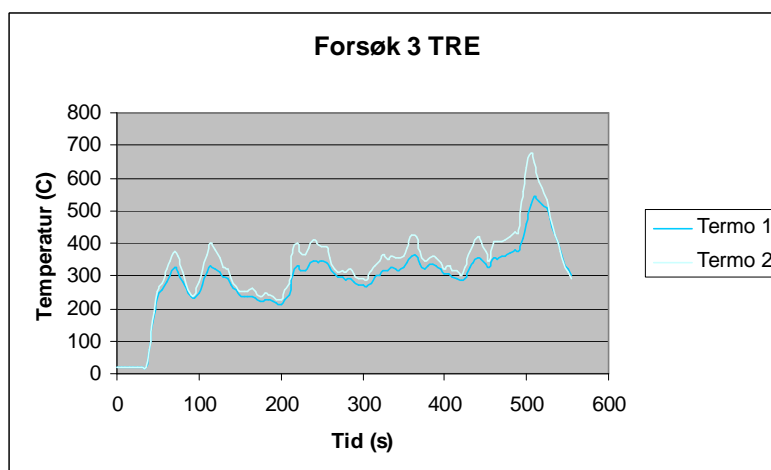
Fikk først en liten antennelse etter 150 sekunder. Temperaturen var da oppe i 440 °C. Ny antennelse med vedvarende forbrenning oppstod etter 225 sekunder. Temperaturen var da på ca 450 °C. Flammen ble så slukket og det ble forsøkt med temperaturer opp mot 400 °C, men uten antennelse. Figur under viser temperaturutviklingen gjennom forsøket.



Temperaturene under profilen.

Forsøk 3 i tre:

Antente først etter 490 sekunder, da var temperaturen ca 430 °C, og forbrenningen vedvarte etter dette. Trebiten brant uten tilførsel fra ekstern varmekilde til avsluttet forsøk ved 550 sekunder. Temperaturutviklingen for forsøket er gitt i figur under.



Temperaturene under profilen.

Vedlegg B. Forsøk med konkolorimeter:

Observasjoner gjort med forsøk av PVC prøvestykker i konkolorimeter:

Forsøk 1:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
25 s	Røyk	Synlig røyk fra overflaten
72 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
87 s	HCl test 1	Målt 1500 ppm
138 s	HCl test 2	Målt 2500 ppm

Forsøk 2:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
39 s	Røyk	Synlig røyk fra overflaten
50 s	HCl test 1	Målt 600 ppm
69 s	HCl test 2	Målt 1200 ppm
116 s	HCl test 3	Målt 400 ppm
126 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
178 s	Flamme slutt	
190 s	HCl test 4	Målt 800 ppm

Forsøk 3:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
44 s	Røyk	Synlig røyk fra overflaten
87 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
107 s	Flamme slukket	
		Masse svart røyk

Forsøk 4:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
22 s	HCl test 1	Målt 500 ppm
51 s	Liten flammepulsering	Ikke konstant flamme
58 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
63 s	HCl test 2	Målt 1500 ppm
171 s	HCl test 3	Målt 1000 ppm
563 s	Flammeslutt	Kun røyk etter dette

Forsøk 5:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
32 s	HCl test 1	Målt 2000 ppm

38 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
65 s	Flammeslutt	Kun røyk etter dette
76 s	HCl test 2	Målt 1000 ppm

Forsøk 6:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
35 s	HCl test 1	Målt 2000 ppm
43 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
60 s	HCl test 2	Målt 1000 ppm
63 s	Flammeslutt	Kun røyk etter dette
168 s	HCl test 3	Målt 1000 ppm

Forsøk 7:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
20 s	HCl test 1	Målt 2500 ppm
23 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
37 s	Flammeslutt	Kun røyk etter dette
52 s	HCl test 2	Målt 1500 ppm
102 s	Reantennelse med gnist	Brann etter dette
614 s	Endelig flammeslutt	

Forsøk 8:

Dette ble observert under forsøket:

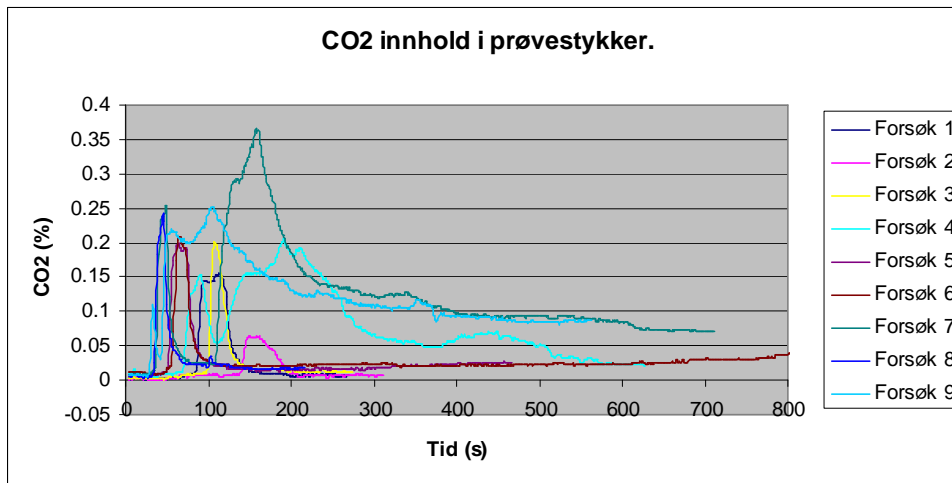
Tid	Hendelse	Forklaring
15 s	Røyk	Synlig røyk fra overflaten
19 s	HCl test 1	Målt 2500 ppm
23 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
37 s	Flamme slukket	Kortvarig slutt på flamme
59 s	HCl test 2	Målt 2000 ppm
94 s	Liten reantennelse	PVC antenner igjen (liten flamme)

Forsøk 9:

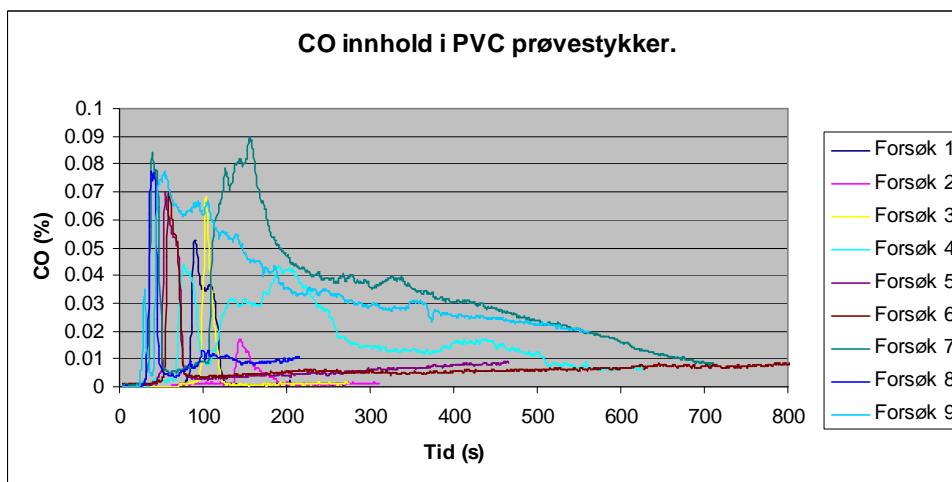
Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
9 s	Røyk	Synlig røyk fra overflaten
15 s	HCl test 1	Målt 2000 ppm
18 s	Antennelse	Synlig flamme fra PVC
28 s	Flamme slukket	Kortvarig slutt på flamme
30 s	Reantennelse	PVC løfter seg opp og reantenner nedover i prøvestykket
91 s	HCl test 2	Målt 2000 ppm

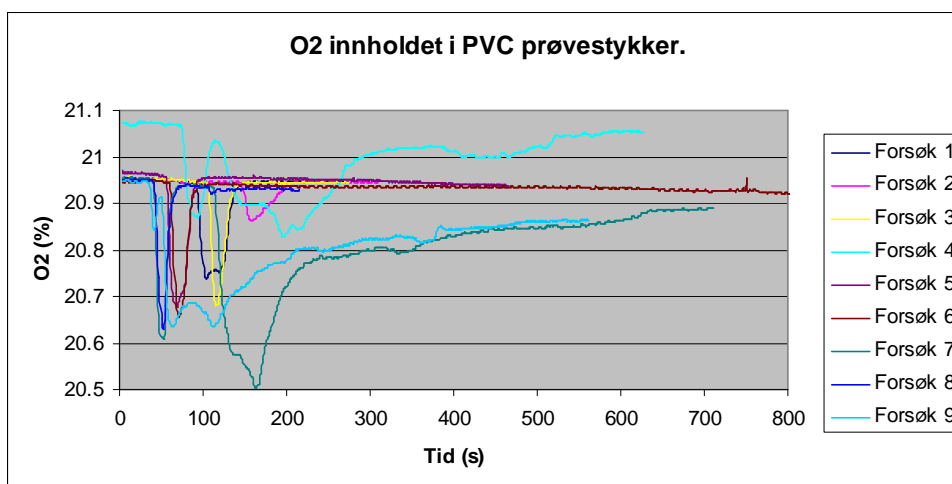
Grafer ut fra forsøk med PVC prøvestykker i konkalorimeter:



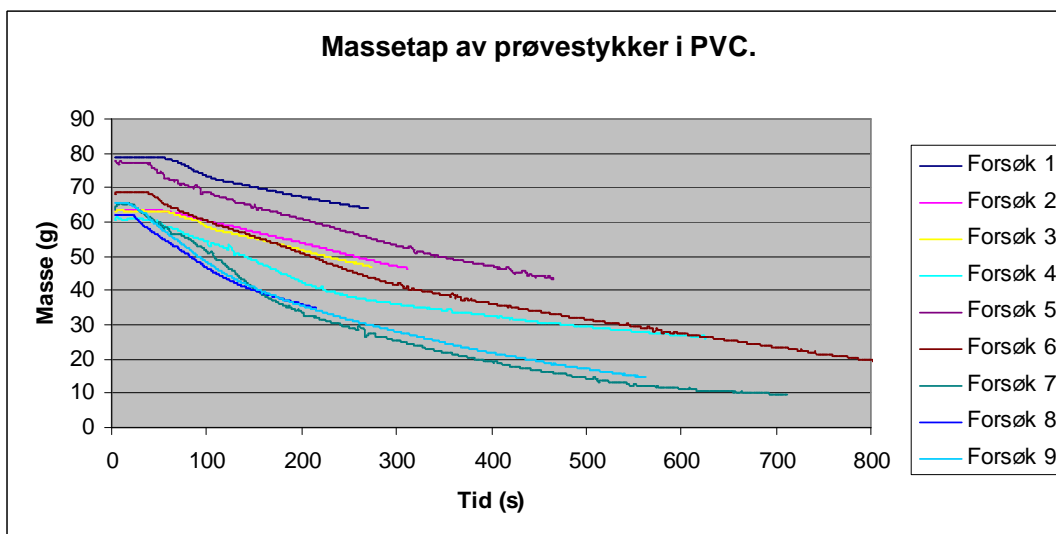
Viser CO₂ innholdet i forbrenningsgassene til PVC prøvestykker.



Viser CO innholdet i forbrenningsgassene til PVC prøvestykker.



Viser O₂ innholdet i forbrenningsgassene til PVC prøvestykker



Viser massetapet ved forbrenning av PVC prøvestykker.

Observasjoner gjort med forsøk av treprøvestykker i konkalorimeter:

Forsøk 1:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
46 s	HCl test	Målte 0 ppm
66 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre
79 s	HCl test	Målte 0 ppm

Forsøk 2:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
54 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre
60 s	HCl test	Målte 0 ppm

Forsøk 3:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
61 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre

Forsøk 4:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
21 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre
29 s	HCl test 1	Målt 0 ppm
81 s	HCl test 2	Målt 0 ppm

Forsøk 5:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
24 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre
29 s	HCl test 1	Målt 0 ppm

Forsøk 6:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
19 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre
59 s	HCl test	Målt 0 ppm

Forsøk 7:

Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
5 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre
31 s	HCl test	Målt 0 ppm

Forsøk 8:

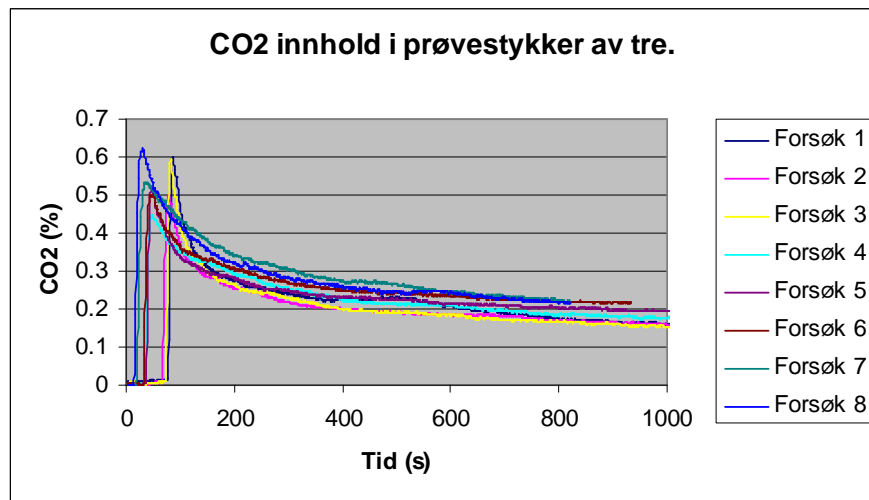
Dette ble observert under forsøket:

Tid	Hendelse	Forklaring
2 s	Antennelse	Synlig flamme fra tre
12 s	HCl test	Målt 0 ppm

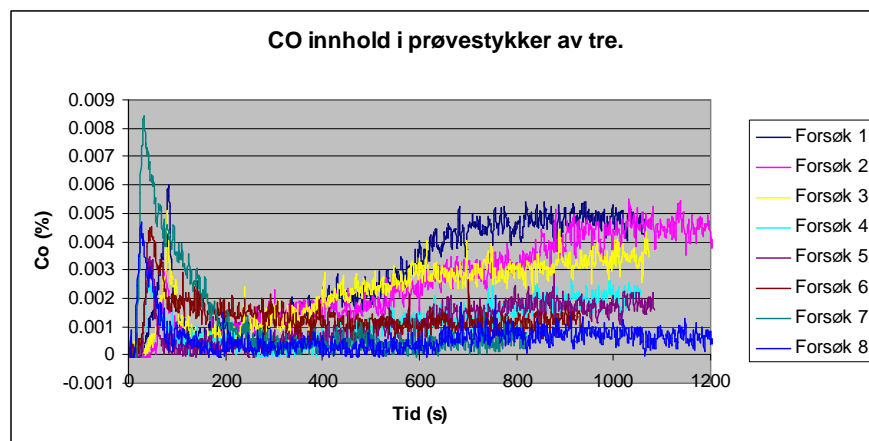
Gjennomsnittelig antennelsestemperatur i konkalorimeter:

Strålenivå [kW/m^2]	Tid til antennelse PVC [s]	Tid til antennelse tre [s]
25	72	66
25	126	54
25	87	61
35	58	21
35	38	24
35	43	19
50	23	5
50	23	2
50	18	
Gjennomsnitt:	54,2	31,5

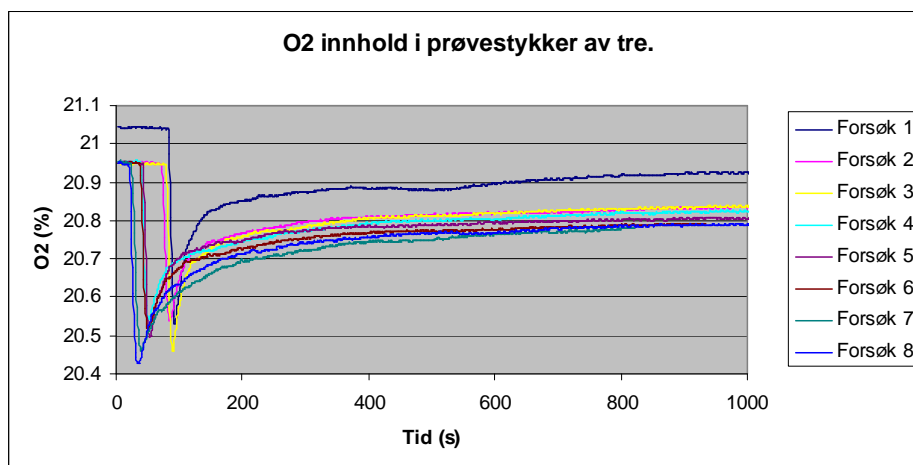
Grafer ut fra forsøk med PVC prøvestykker i konkalorimeter:



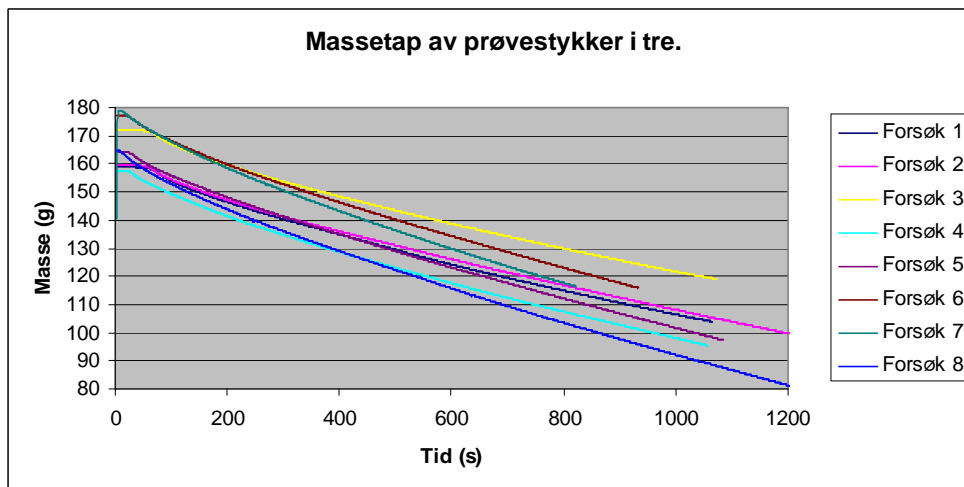
Viser CO₂ innholdet i forbrenningsgassene til treprøvestykker



Viser CO innholdet i forbrenningsgassene til treprøvestykker



Viser O₂ innholdet i forbrenningsgassene til treprøvestykker



Viser massetapet ved forbrenning av treprøvestykker

Vedlegg C. Fullskalaforsøk i test rom:



Plassering av kameraer ved fullskalaforsøk

Bildet over er tatt under fullskalaforsøket på ResQ. Det viser plassering av kameraene og testrommet der forsøkene ble gjennomført. Vinduene ble montert i åpning på baksiden av testrommet.

Vedlegg D. Forkortet HMS datablad n-HEPTAN[19].

IDENTIFIKASJON AV KJEMIKALIET OG ANSVARLIG FIRMA

Handelsnavn:	n-HEPTAN		
Synonymer:	1-Heptan		
Kjemisk navn:	n-Heptan		
Artikkel nr:	271		
Gruppe:	Organisk stoff	CAS nr.	142-
82-5			
EC-nr	205-563-8	Indeks nr.	601-
008-00-2			
		Formel	C ₇ H ₁₆

Leverandør: KPT Naturfag a.s fax. 71 58 89 49 tlf. 71 58 89 00
Ansvarelig: Odd Klokseth
Anvendelse: Ekstraksjonsmiddel for olje, fett, fortynner for essensielle oljer, rengjøringsmiddel for presisjonsinstrument.
Utarbeidet av: KPT Naturfag a.s

VIKTIGSTE FAREMOMENTER



HELSESKADELIG



MEGET
BRANNFARLIG



MILJØSKADELIG

n-Heptan er meget brannfarlig. Dampene kan danne eksplosiv blanding med luft. Dampene er tyngre enn luft og kan bre seg i betydelige avstander langs bakken til tennkilder. Stoffet vil ved innånding påvirke sentralnervesystemet og kan ved langvarig bruk medføre løsemiddelskadelignende symptomer.

FØRSTEHJELPSTILTAK

Annen informasjon

Vedkommende bringes snarest mulig bort fra eksponeringskilden. Vanlig førstehjelp: ro, varme og frisk luft. Ved bevisstløshet: løs stramtsittende klær, stabilt sideleie. Ved åndedrettsbesvær: eventuelt oksygentilførsel. Ved åndedrettsstans: kunstig åndedrett. Ved hjertestans: hjertekompresjon. Kontakt lege.

Innånding

Lav doser virker lett irriterende. Konsentrasjoner fra 1000 - 5000 ppm i 4 - 15 min. fører til

svimmelhet, uro og beruselse. Svært høye konsentrasjoner i lengre tid, kan føre til bevisstløshet med dødelig utgang.

Hudkontakt

Kroppsdelene som har vært i berøring med væsker, vaskes grundig med såpe og vann (nøddusj). Tilsølte klær fjernes under skylling.

Øyekontakt

Skyll umiddelbart med vann fra springen eller øyevaskflaske i minst 15 minutter. Kontakt lege.

Svelging

Ved bevissthet gis vedkommende 30 - 50 g medisinsk kull utrørt i et glass vann, og deretter noen spiseskjeer parafinemuljon. Unngå brekninger.

TILTAK VED BRANNSLUKKING

Passende slukningsmidler

Brannslukningsmiddel er CO₂, skum, vann.

STABILITET OG REAKTIVITET

Stabilitet

Stoffet er meget brannfarlig og er ustabil i forbindelse med oksiderende middel.

Reagerer med

Holdes borte fra sterkt oksiderende middel.

Farlige spaltnings

Gassen er eksplosjonsfarlig i forbindelse med luft.

9. FYSISKE OG KJEMISKE EGENSKAPER

Produktets form	Væske	Lukt	Svakt aromatisk
Farge	Fargeløs	Oppløselig i	-
Smelte/frysepunkt	-90,6 °C	Kokepunkt	98,4 °C
Tetthet	0,684 ved 20 °C	Flammepunkt	-4 °C
Eksplosjonsområde	- - -	pH (kons.)	-
Løselighet i vann	Ikke løselig	Molmasse	100,20
Damptrykk	-	Viskositet	-
Metningskons.	-	Tenntemperatur	-
Dekomponeringstemp.	-	Luktegrense	50 ppm
pH løsning	-	Damptetthet (luft=1)	3,46
Vannreaktivitet	-	Luftreaktivitet	-