



# Høgskulen på Vestlandet

## SIK350 - Bacheloroppgave

SIK350

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	23-05-2022 09:00	<b>Termin:</b>	2022 VÅR
<b>Slutt dato:</b>	30-05-2022 14:00	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave		
<b>Flowkode:</b>	203 SIK350 1 O 2022 VÅR		
<b>Intern sensor:</b>	(Anonymisert)		

### Deltaker

<b>Kandidatnr.:</b>	410
---------------------	-----

### Informasjon fra deltaker

<b>Antall ord *:</b>	20783
----------------------	-------

Sett hake dersom Ja  
besvarelsen kan brukes  
som eksempel i  
undervisning?:

Egenerklæring \*: Ja  
Jeg bekrefter at jeg har Ja  
registrert  
oppgavetittelen på  
norsk og engelsk i  
StudentWeb og vet at  
denne vil stå på  
vitnemålet mitt \*:

### Gruppe

<b>Gruppenavn:</b>	(Anonymisert)
<b>Gruppenummer:</b>	1
<b>Andre medlemmer i gruppen:</b>	411, 406

Jeg godkjenner autalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

**Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \***

Ja, BUILDER

**Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? \***

Nei



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

IG-541 i boliger for mennesker med  
rusproblematikk og psykiske lidelser

---

IG-541 in homes for people with substance  
abuse problems and psychiatric disorders

Eirik Ruud Nordstrand

Hågen Solbakken

Sebastian Dimmen

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniørfag

Intern veileder: Arjen Kraaijeveld & Kristian Grimstvedt

Ekstern veileder: Arnstein Fedøy

Haugesund, 25.05.2022

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en avsluttende del av en treårig branningeniørutdanning ved Høgskolen på Vestlandet, campus Haugesund. Oppgaven er et gruppearbeid og består av utarbeidelsen av denne rapporten, fullskala brannforsøk, en plakat og en presentasjon som samlet utgjør 20 studiepoeng.

I løpet av semesteret har arbeidsgruppen fått veiledning og hjelp til bacheloroppgaven og ønsker å takke:

Intern veileder Arjen Kraaijeveld ved HVL i forbindelse med hans bistand i Hall of Flame med forsøkene og byggingen av forsøksboligen, engasjement og faglige diskusjoner relatert til bachelorprosjektet.

Intern veileder Kristian Grimstvedt for hans raske, grundige og konstruktive tilbakemeldinger.

Ekstern veileder Arnstein Fedøy ved Igneus AS for hjelp i den tidlige fasen for igangsettelse og anskaffelse av relevant litteratur, samt gode bidrag til bachelorrapportens innhold og struktur.

Jørn Karlsen og resten av de ansatte ved HH Fire Eater AS for levering av Inergenanlegget, hjelp med informasjon om systemet og prosjektering, og gjennomførte beregninger.

Stine Thuen Spissøy ved Karmøy kommune for å involvere oss studenter i kommunens arbeid, og hennes bidrag til anskaffelse av statistikk relatert til kostnader ved kommunale ROP-boliger.

## Sammendrag (norsk)

Karmøy kommune skal bygge tre boliger tilrettelagt for mennesker med rusproblematikk og psykiske lidelser (ROP) som del av et pilotprosjekt. Et forskningsprosjekt finansiert av Norges Forskningsråd skal sikre at boligene blir utstyrt med innovative løsninger. Parallelt gjennomfører HVL forskningsprosjektet Building design for At-risk groups (BUILDER). Denne studien er en del av BUILDER-prosjektet. Prosjektene har til formål å øke brannsikkerheten for risikogrupper. Hovedformålet med bacheloroppgaven er å undersøke om et gassbasert brannslukningsanlegg med IG-541 (Inergen) som slokkemiddel er et egnet alternativ i frittstående boliger brukt av mennesker i risikogruppen som bor selvstendig og ikke alltid kan berge seg selv i sikkerhet i tilfelle brann.

Arbeidsgruppen har gjennomført en innledende litteraturstudie for å innhente opplysninger og data for å avdekke samfunnsmessig relevans for prosjektet og gi grunnlag for forsøks-scenarioene. I tillegg er akseptkriterier utarbeidet ved litteraturstudien. Kvalitative intervjuer er gjennomført for å utdype dataen. Forsøkene er gjennomført i to serier. Første serie har til hensikt å identifisere deteksjonskriterier for gassutløsning. Andre serie tar for seg systemets funksjonalitet, pålitelighet og sikkerhet opp mot akseptkriteriene, samt gassens slokkeeffekt. Til slutt er det gjennomført et langsiktig kostnadsoverslag som sammenlikner Inergen-anlegg med et sprinkleranlegg prosjektert for ROP-bolig.

Resultatene fra første forsøksserie viste at et aspirasjonssystem som overvåker CO-nivå og røykpartikler kan fungere godt for deteksjon. Resultatene fra fullskala brannforsøk med Inergen viste god slokkeeffekt med en eller ingen åpning i fasaden. Forsøk med to dører åpne viste at store luftgjennomstrømninger i boligen fører til at brann ikke blir slokkes. Gjennom forsøkene fremkom det at aspirasjonssystemet har utfordringer med å detektere brann tidlig nok til å unngå kritiske temperaturforhold i små rom. Kostnadsoverslaget viser at sprinklersystem i utgangspunktet er et billigere alternativ, men at Inergen kan være mer lønnsomt i ROP-boliger hvor det er stor sannsynlighet for hyppige branntilløp.

## Abstract (English)

Karmøy municipality will build three homes adapted for people with substance abuse problems and psychiatric disorders as part of a pilot project. A research project funded by the Research Council of Norway will ensure that the homes are equipped with innovative solutions. At the same time, HVL is carrying out the research project Building design for At-risk groups (BUILDER). The project aims to increase fire safety for at-risk groups. The main purpose of this bachelor thesis is to investigate whether a gas-based fire extinguishing system with IG-541 (Inergen) as an extinguishing agent is a suitable alternative in detached homes used by people in the at-risk group who live independently and cannot always save themselves in case of fire.

The group has conducted a literature study to obtain information and data. The information is processed through qualitative analysis and interviews to identify relevant fire scenarios for full-scale fire tests. The aim of the first test series is to identify detection criteria for gas release. The second series addresses the system's functionality, reliability, and safety against acceptance criteria, as well as the gas extinguishing effect. A long-term cost estimate has been carried out which compares an Inergen system with a sprinkler system designed in the relevant at-risk housing.

The results from the first series of experiments showed that an aspiration system that monitors CO levels and smoke particles can work well for detection. The results from full-scale fire tests with Inergen showed a good extinguishing effect with one or no opening in the facade. Experiments with two doors open also showed that large air flows in the apartment lead to a fire not being extinguished. The second series of experiments also shows that the aspiration system has challenges in detecting fire early enough to avoid critical temperature conditions in small rooms. The cost estimate shows that sprinkler systems are in principle a cheaper alternative, but that Inergen can be more profitable in the homes where frequent fires are likely to occur.

## Innhold

Forord .....	I
Sammendrag (norsk).....	II
Abstract (English).....	III
Figuroversikt.....	VII
Tabelloversikt .....	VIII
Ordforklaring .....	IX
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemdefinering .....	2
1.3 Begrensninger .....	2
2. Teori.....	4
2.1 Brannteori .....	4
2.1.1 Brannfirkanten .....	4
2.1.2 Faseovergang .....	5
2.1.3 Brennbarhetsgrenser .....	6
2.1.4 Rombrann .....	6
2.2 Slokketeori .....	8
2.3 Vann-slokkeanlegg .....	8
2.3.1 Sprinkleranlegg .....	8
2.3.2 Vanntåkeanlegg .....	9
2.4 Gass-slokkeanlegg.....	10
2.4.1 Slokkegass .....	10
2.4.2 IG-541 .....	10
2.5 Prosjektering.....	14
2.6 Dødsbranner knyttet til rus og psykiske lidelser .....	16
2.6.1 Rusmisbruk.....	16
2.6.2 Psykiske lidelser .....	16
2.7 Brannsikkerhetstiltaks påvirkning av klima og miljø .....	17
3. Metode .....	20
3.1 Søkekriterier ved litteraturstudie.....	20
3.2 Kvalitativ arbeidsmetodikk.....	21
3.2.1 Kvalitativ dataanalyse .....	21
3.2.2 Kvalitative intervjuer .....	21
3.4 Metode for forsøk.....	22
3.4.1 Første forsøksserie .....	23

3.4.2 Andre forsøksserie, scenario A.....	23
3.4.3 Andre forsøksserie, scenario B.....	25
3.4.4 Komfyrbrann/tørrkoking.....	27
3.4.5 Utførelse .....	28
4. Akseptkriterier .....	29
4.1 Oppsummering av akseptkriteriene.....	29
4.2 Sikt .....	30
4.3 Varme .....	30
4.4 CO <sub>2</sub> .....	31
4.5 O <sub>2</sub> og holdetid .....	31
4.6 CO forgiftning:.....	32
5. Testoppsett.....	35
5.1 Forsøks-bolig.....	35
5.1.1 Slokkanlegg .....	36
5.1.2 Deteksjon .....	37
5.1.3 Måleutstyr.....	38
5.1.4 Utstysliste .....	40
6. Data fra første forsøksserie.....	41
7. Diskusjon første forsøksserie .....	44
7.1 Deteksjon i testleiligheten .....	44
7.2 Forbedringspotensialer for deteksjon.....	45
8. Data fra andre forsøksserie.....	47
8.1 Grafisk fremstilling av andre forsøksserie .....	48
8.1.1 Scenario A (stue) .....	49
8.1.2 Scenario B (soverom) .....	55
9. Diskusjon av andre forsøksserie.....	59
9.1 Forsøksmetode og feilkilder.....	59
9.2 Slokkeeffekt .....	61
9.3 Akseptkriterier .....	62
9.4 IG-541 og personsikkerhet.....	64
10. Kostnadsoverslag for slokkesystemer .....	65
10.1 Kostnader knyttet til installasjon .....	65
10.2 Kostnader som følge av utløsning .....	65
10.3 Kostnader som følge av nedetid og omplassering.....	66
10.4 Forsikringsselskapers kostnader relatert til ROP omsorgsboliger .....	66
10.5 Antagelser .....	67



10.6 Sammenlikning av kostnader eks. mva .....	68
11. Diskusjon av kostnader .....	71
12. Konklusjon .....	72
13. Videre arbeid .....	73
14. Referanser.....	74
Vedlegg A – Sjekkliste til forsøk .....	I
Vedlegg B - Observasjonsskjema .....	II
Vedlegg C – IMT-beregning.....	IV
Vedlegg D - Forhold under forsøkene .....	VII
Vedlegg E – Data fra forsøk.....	VIII
E-1 Første forsøksserie.....	VIII
E-2 Andre forsøksserie .....	VIII
Vedlegg F - Grafisk fremstilling første forsøksserie .....	IX
Forsøk uten IG-541 slokkegass og ventilasjon.....	IX
Forsøk uten IG-541 slokkegass og med ventilasjon.....	XI
Vedlegg G - Oversikt over termoelementer .....	XIV

## Figuroversikt

Figur 1: Brannfirkanten .....	4
Figur 2: Forskjellige aggregattilstander til brensel ved faseovergang [8] .....	5
Figur 3: Temperaturpåvirkning av brennbarhetsområde [8] .....	6
Figur 4: Temperaturutvikling for en rombrann med forskjellige utfall [8] .....	7
Figur 5: Brannfirkanten med tilhørende slokketiltak. ....	8
Figur 6: Oversiktsbilde av et enkelt Inergen-system uten flasker .....	11
Figur 7: IG-541 flaskebanker plassert ved siden av et brannalarmanlegg og aspirasjonssystem. ....	12
Figur 8: Eksempel på utslipp ved en totalskadet skole utarbeidet av Skanska [24]. Rekonstruert til norsk. ....	18
Figur 9: Eksempel på forventet utslipp med ulike sikkerhetstiltak på en skole utarbeidet av Skanska [24]. Rekonstruert til norsk. ....	19
Figur 10: Fremstilling av materialer for scenario A .....	24
Figur 11: Oppsett av scenario A .....	25
Figur 12: Fremstilling av materialer for scenario B .....	26
Figur 13: Oppsett av scenario B .....	26
Figur 14: Prosent COHb som funksjon av CO konsentrasjon i omgivelsene, gjengitt på norsk [41]. ...	34
Figur 15: Utvendig bilde av forsøksboligen. ....	35
Figur 16: Planløsning for forsøks-bolig. ....	36
Figur 17: Oversiktsbilde av forsøks-boligen plassert inne i Hall of Flame .....	36
Figur 18: Oversiktsbilde av deteksjonssystemet til forsøksboligen. ....	37
Figur 19: Oversiktsbilde for plasseringen av måleutstyr .....	38
Figur 20: Kameraplassering for siktmåling (3 meter til første figur og 5,4 meter til andre figur).....	39
Figur 21: Stativ med termoelementer: (1) kjøkken og (2) stue .....	40
Figur 22: målingsutstyr fra venstre: action kamera, multigassdetektor, datainnsamlingsmodul.....	40
Figur 23: Temperaturutvikling over tid for brann i stue uten slokkegass. ....	42
Figur 24: CO-nivå over tid for sigarrøyking på soverom. ....	42
Figur 25: CO-nivå for multikriteriedetektor i stue (oransje) og aspirasjon (blå). ....	43
Figur 26: Grafisk fremstilling av aspirasjonsanlegg i testleiligheten. Røde streker viser rørene i aspirasjonssystemet. ....	45
Figur 27: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk A1 .....	49
Figur 28: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk A1 .....	49
Figur 29: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk A1 .....	49
Figur 30: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk A1 .....	50
Figur 31: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk A2 .....	51
Figur 32: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk A2 .....	51
Figur 33: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk A2 .....	51
Figur 34: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk A2 .....	52
Figur 35: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk A3 .....	53
Figur 36: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk A3 .....	53
Figur 37: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk A3 .....	53
Figur 38: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk A3 .....	54
Figur 39: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk B1 .....	55
Figur 40: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk B1 .....	55

Figur 41: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk B1 .....	55
Figur 42: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk B1 .....	56
Figur 43: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk B2 .....	57
Figur 44: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk B2 .....	57
Figur 45: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk B2 .....	57
Figur 46: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk B2 .....	58
Figur 47: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 0 feilutløsninger og 0 branntilløp.....	69
Figur 48: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 1 feilutløsning og 0 branntilløp. ....	69
Figur 49: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 1 feilutløsning og 1 branntilløp. ....	70
Figur 50: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 2 feilutløsninger og 2 branntilløp.....	70

## Tabelloversikt

Tabell 1: Gjennomførte intervjuer .....	22
Tabell 2: Oversikt over materiell og vekt som brukes i scenariene A1-A3 .....	24
Tabell 3: Oversikt over materiell og vekt som brukes i scenariene B1 og B2 .....	26
Tabell 4: Akseptkriterier for forskjellige parametere .....	29
Tabell 5: Fysiske effekter ved eksponering av høye temperaturer, gjengitt på norsk [41] .....	30
Tabell 6: COHb prosent verdier for ulike røykevaner, gjengitt på norsk [49] .....	33
Tabell 7: Fysiologiske effekter ved eksponering for forskjellig omgivelser av CO konsentrasjon, gjengitt på norsk [41]. ....	34
Tabell 8: Oversikt for plassering og høyde av måleutstyr .....	39
Tabell 9: Beskrivelse av hendelser og tilhørende tall .....	41
Tabell 10: Oppsummering av forsøkene .....	47
Tabell 11: Beskrivelse av hendelser og tilhørende tall .....	48
Tabell 12: Oversikt for status til forsøk A1 for de diverse parameternes akseptkriteriet .....	50
Tabell 13: Oversikt for status til forsøk A2 for de diverse parameternes akseptkriteriet .....	52
Tabell 14: Oversikt for status til forsøk A3 for de diverse parameternes akseptkriteriet .....	54
Tabell 15: Oversikt for status til forsøk B1 for de diverse parameternes akseptkriteriet.....	56
Tabell 16: Oversikt for status til forsøk B2 for de diverse parameternes akseptkriteriet.....	58
Tabell 17: Oversikt over forskjellige kostnader for Inergen- og sprinkleranlegg .....	68

## Ordforklaring

Ord	Forklaring
Aktuator	Magnetventil som åpner flaskeventil ved deteksjon av brann
COHb	COHb er en forkortelse for karboksyhemoglobin, en kjemisk forbindelse mellom hemoglobin og karbonmonoksid.
Designkonsentrasjon	Konsentrasjon av slokkegass som skal oppnås for å sikre god slokkeeffekt. Bestemmes ut ifra brannklasse iht. standard [1].
FG	Forsikringsgodkjent.
Funksjonalitet	Evnen et system har til å fungere etter hensikt.
Halokarbongasser	Kjemiske gasser som spaltes til giftige, miljøskadelige eller korrosive stoffer når de blir utsatt for høye temperaturer [2].
Holdetid	Tiden fra det den minste designkonsentrasjonen nås, til slokkemiddelkonsentrasjonen er 85% av designkonsentrasjonen [1].
Komparativ analyse	Analysemetode som sammenlikner valgt løsning med preakseptert løsning.
Kritiske forhold	Forhold hvor rømning og redning innebærer en uakseptabel risiko på grunn av konstruksjonssammenbrudd eller overskridelse av menneskelige tålegrenser [3]
Orifice	Innretning som justerer utløsningshastigheten til slokkegassen (ring med hull som et kronestykke)
PPM	Mål på konsentrasjon (del av million)
Preakseptert løsning	En byggeteknisk løsning som ikke krever noen videre dokumentasjon.
Risikoklasse (RKL)	Klassifisering beskrevet i TEK17 som setter premiss for krav til sikkerhet i byggverk.
TEK17	Byggeteknisk forskrift. Gjengir krav til byggverk som er oppført etter 2017.
Tetthet	Masse per volumenhet [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].
VTEK 17	Veiledning til Byggeteknisk forskrift.
Pålitelighet	Evnen til et system har til å opprettholde tiltenkt funksjon.

## 1. Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Karmøy kommune skal bygge tre boliger tilrettelagt for mennesker med rusproblematikk og psykiske lidelser (ROP) som del av et pilotprosjekt. Målet er å utvikle et konsept for robuste boliger som er tilrettelagt denne gruppen på en slik måte at de skal få økt brannsikkerhet og livskvalitet. Basert på statistikk er det sannsynlig at brann vil forekomme i disse boligene.

Et forskningsprosjekt støttet av Norges Forskningsråd skal sikre at boligene blir utstyrt med innovative løsninger [4]. Det skal være et fokus på både funksjonalitet og langtidskostnader for løsningene. Deltakerne i forskningsprosjektet er Karmøy kommune, forskningsinstituttet Norce, Snøhetta og Høgskolen på Vestlandet (HVL).

Parallelt gjennomfører HVL forskningsprosjektet Building design for At-risk groups (BUILDER) [5]. Prosjektet har til formål å øke brannsikkerheten for risikogrupper. Denne bacheloroppgaven er en del prosjektets arbeidspakke 5 (WP-5), hvor målet er å finne nye teknologiske løsninger som kan øke brannsikkerheten for personer i risikogrupper.

Det er mange utfordringer knyttet til brannforebygging i ROP-boliger. Noen av de kjente problemene er hyppige branntilløp, uønsket aktivering av brannslukkingsanlegget, demontering av brannsikringsutstyr, og utfordringer med flytting av beboer mens leilighetene rehabiliteres etter skader. Bjarne Christian Hagen konkluderer i sin rapport med at det ikke er samsvar mellom dagens tekniske løsninger for deteksjon og slokking av brann, og ROP-beboeres behov for brannsikring [6]. Hagen beskriver at det økte behovet for brannsikring heller ikke blir hensyntatt i lover og forskrifter.

Med dette som utgangspunkt, er det et mål å undersøke hva slags automatisk brannslukkingsanlegg med tilhørende deteksjonssystem som egner seg i ROP-boliger. En aktuell løsning kan være et personsikkert, gassbasert slokkesystem som utløses i en tidlig fase av en brann. Dette kan redusere brannskadene og minske omplasseringstid for beboer, samt gi brannvesenet nok tid til å redde mennesker som ikke kan rømme på egenhånd.

## 1.2 Problemdefinering

Byggteknisk forskrift (TEK17) i Plan og Bygningsloven krever automatiske slokkeanlegg i boliger beregnet for personer med funksjonsnedsettelse (risikoklasse 6). Hovedformålet med denne studien er å undersøke om et gassbasert brannslukningsanlegg med IG-541 (Inergen) som slokkemiddel er et egnet alternativ i frittstående boliger brukt av mennesker med ROP-lidelser. Brukerne bor selvstendig og kan ikke alltid berge seg selv i sikkerhet i tilfelle brann.

Fullskala forsøk er gjennomført for å undersøke systemets funksjonalitet og pålitelighet, herunder tidlig deteksjon og gassens evne til innvendig slokking i ROP-boliger. Dataen fra forsøkene sammenliknes med akseptkriterier som skal sikre tilfredsstillende tid til rømning og redning, og hensynta sikkerheten. Slokkeanlegget skal testes for hele slokkekjeden; herunder brannstart, deteksjon, utløsning og eventuell slokking, uten menneskelig påvirkning underveis.

For at av funnene i oppgaven kan anvendes i byggeprosjekter, kreves en gjennomgang av forskriftskrav som må hensyntas ved prosjektering av et IG-541 slokkeanlegg. Usikkerhet rundt dokumentasjonsbehov kan være en faktor for at preaksepterte løsninger velges til fordel for innovative løsninger. Graden av personsikkerhet knyttet til slokkemiddelet er relevant for prosjekteringen, og vil bli hensyntatt i akseptkriteriene. I tillegg vil en gjennomgang av utgifter peke på trender for langtidskostnader ved valg av forskjellige slokkesystemer.

Byggebransjen har et økt fokus på bærekraft og miljø [7]. Arbeidsgruppen ønsker å settes et søkelys på miljøpåvirkning og klimaregnskap i slokkesammenheng. Dette kan utgjøre et av kriteriene for valg av slokkeanlegg i fremtiden. Det er mangel på verktøy og tid til å utføre en analyse i denne studien, derfor vil denne studien kun belyse hvilke utfordringer som er knyttet til temaet.

## 1.3 Begrensninger

Denne oppgaven er begrenset til å se på boliger beregnet for rusmisbrukere og personer med psykiske lidelser, men siden dette ligger innenfor samme risikoklasse (6) i Byggteknisk forskrift, vil denne også ha relevans for de andre grupper bygg/brukere nevnt for denne risikoklassen. Forsøkene er gjort på små frittstående boliger bestående av kun én branncelle, slik at dette ikke er direkte overførbart på f.eks. seksjonsløsninger. Materialvalg i testboligen

vil ikke gjenspeile materialene som brukes i reelle boliger. Testboligen er i tillegg bygningsmessig forenklet, da den kun består av reisverk og innvendig kledning av kryssfiner. Dette vil gi mer konservative resultater.

Ekvivalenstester som sammenlikner IG-541 slokkeanlegg med sprinkleranlegg, vil ikke bli gjennomført. Utarbeidelse av slike tester vil være for tid- og ressurskrevende for denne oppgaven. Dette begrenser muligheten for å sammenlikne Inergen-anlegg og sprinkleranlegg, noe som er nødvendig ved prosjektering. For å hensynta dette er standarder som angir målbare krav til sprinkler brukt ved utarbeidelse av akseptkriterier.

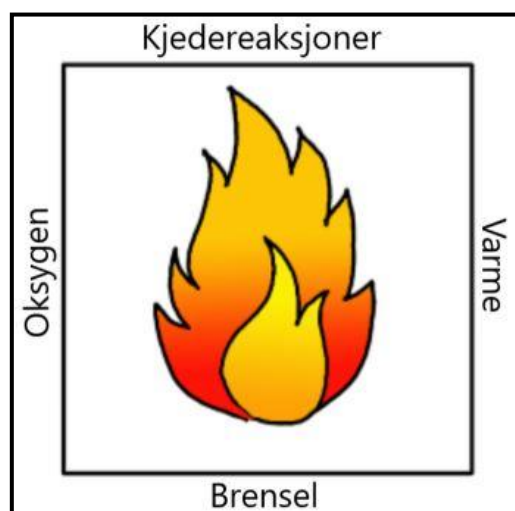
## 2. Teori

I dette kapittelet presenteres tilgjengelig faglitteratur og tidligere forskning for å skape et teoretisk rammeverk. Dette legger grunnlag for løsning av oppgavens problemstilling. Generell brann- og slokketeori, slokkanlegg og prosjektering blir presentert. I tillegg beskrives slokkegassens påvirkning på helse, hvorfor personer med rusproblemer og psykiske lidelser inngår i risikogruppen, og miljøpåvirkning og klimaregnskap knyttet til bygninger, slokkesystemer og brann.

### 2.1 Brannteori

#### 2.1.1 Brannfirkanten

Boken Grunnleggende brannteknikk [8] er grunnlaget for utledningen av brannfirkanten. For at en flamme kan oppstå kreves de fire elementene oksygen, varme, brensel og kjedereaksjon. Dette utgjør brannfirkanten, som vist i figur 1.



Figur 1: Brannfirkanten

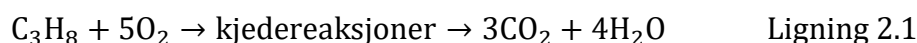
**Brensel:** En brann er avhengig av brennbart stoff. Brenselet er hovedkilden til energi som utløses ved en brann. Et brensel kan være et fast stoff, væske eller gass.

**Oksygen:** Ved høye temperaturer vil brensel reagere med oksygen og danne reaktanter. Dette kalles en forbrenningsprosess som i tillegg til å produsere karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), vann ( $\text{H}_2\text{O}$ ) og eventuelle andre biprodukter, avgir energi i form av varme og lys. I tilfeller hvor brannen har lav tilgang til oksygen, øker produksjonen av karbonmonoksid ( $\text{CO}$ ).



**Varme:** Temperaturen i forbrenningssonen må være tilstrekkelig høy for at brannen skal utvikle seg. Høy varme bidrar til å intensivere forbrenningsprosessen da denne krever energi, i tillegg til at noe av varmen overføres til omgivelsene gjennom stråling og røyk. Dersom det forbrukes mer energi i forbrenningssonen enn hva som produseres, vil brannen minske i omfang.

**Kjedereaksjon:** I omdannelsen fra reaktanter til sluttprodukter i en forbrenningsprosess, foregår det mellomliggende prosesser som kan beskrives som kjedereaksjoner, se ligning 2.1.

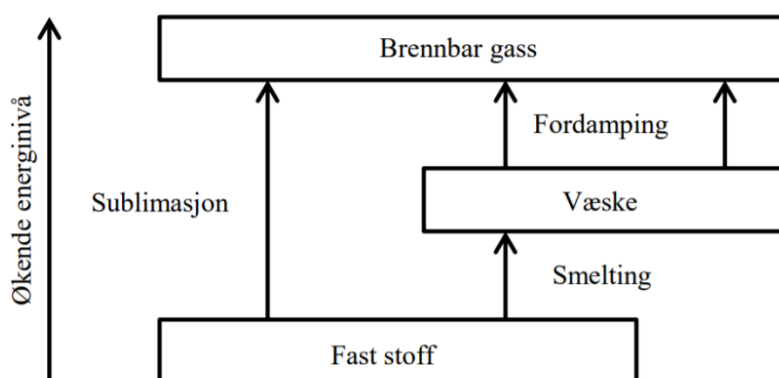


For å illustrere at en brann ikke kan opprettholdes uten kjedereaksjonene, er den typiske branntrekanten utvidet til en brannfirkant, slik som i Figur 1.

### 2.1.2 Faseovergang

Det eksisterer 3 forskjellige aggregattilstander for et brensel: fast stoff, væske og gass. Hvis et brensel skal brenne og en flamme skal kunne oppstå, må brenselet være i gassform. Dette betyr at brensel i form av fast stoff og væske må omdannes til brennbar gass for å inngå i en forbrenning [8].

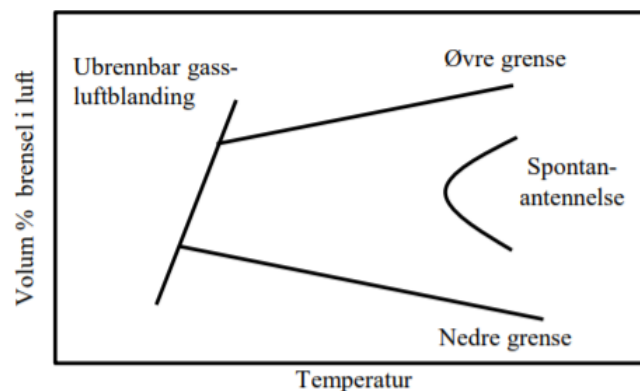
Figur 2 viser et flytskjema hvor de forskjellige omdannelsesprosessene er presentert. Ved oppvarming vil fast stoff smeltes til væske, og videre fordampe til gass. Fast stoff kan også direkte omdannes til gass uten å først bli væske. Dette kalles sublimasjon, og er en prosess som krever mer energi [8]. Det er i tillegg mulig for fast stoff å omdannes til gass gjennom oppvarming hvor en kjemisk prosess spalter stoffer til nye forbindelser. Denne kjemiske spaltingen kalles pyrolyse [9].



Figur 2: Forskjellige aggregattilstander til brensel ved faseovergang [8]

### 2.1.3 Brennbarhetsgrenser

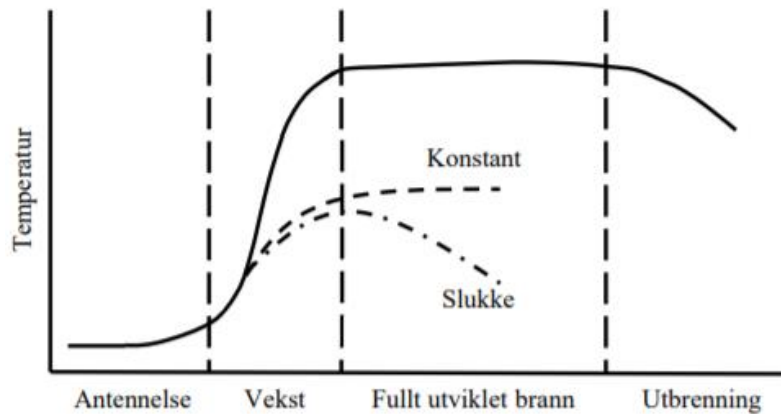
Som forklart i 2.1.2 Faseovergang, må brenselet være i gassform for at en forbrenning kan forekomme. I tillegg må blandingsforholdet mellom brennbar gass og luft/oksygen være innenfor bestemte grenseverdier for at en forbrenning skal oppstå. Dette området kalles brennbarhetsområde. Dersom det eksempelvis produseres så mye brennbar gass i en rombrann at mengden gass blir for høy i forhold til oksygenivået, vil blandingen bli overmettet. Da kontrolleres størrelsen på brannen av mengden oksygen som blir tilført. Dette kalles ventilasjonskontrollert forbrenning. Brannen vil da avta frem til rommet evt. blir forsynt med mer luft [8]. Til sammenlikning vil en brann med rikelig tilgang til luft reguleres av mengden tilgjengelig brennbart stoff. Brannen omtales da som brenselskontrollert. Brennbarhetsgrensene er ulike for forskjellige gasser og utvides dersom temperaturen øker. Eksempelvis er brennbarhetsområdet for propan i luft ved atmosfærisk trykk og 20°C mellom 2,2% og 9,6% konsentrasjon, men ved 100°C vil brennbarhetsområdet utvides til mellom 2,07% og 10,15% konsentrasjon [10]. Figur 3 viser hvordan disse grensene generelt endres for de fleste brennbare gasser som følge av temperaturforandring [8].



Figur 3: Temperaturpåvirkning av brennbarhetsområde [8]

### 2.1.4 Rombrann

Dersom en brann får utvikle seg fritt uten slokkeinnsats, med tilstrekkelig tilgang på oksygen og brannbart materiale, vil den øke i omfang. Dersom det brenner i et avgrenset område der varme og røyk er lukket inne, kan man kategorisere dette som en rombrann. Utviklingen i en rombrann kan deles opp i fire ulike faser. Disse fasene er antennelse, vekstfase, fullt utviklet brann og utbrenningsfasen. Figur 4 fremstiller disse representert med temperatur over en tidsperiode [8].



Figur 4: Temperaturutvikling for en rombrann med forskjellige utfall [8]

Den første fasen er antennelse. I en typisk flammebrann vil en tennkilde sette fyr på et brennbart stoff slik at den kjemiske prosessen starter. Dette kan for eksempel være en elektrisk komponent med funksjonsfeil som danner en gnist og antenner noe brennbart i nærheten [8]. Antennelsen kan også skje spontant eller ved ekstern oppvarming.

Avhengig av forholdene vil brannen utvikle seg i et visst tempo gjennom vekstfasen. Her transporteres varme i det brennbare materialet og varme stråles fra forbrenningssonen. Forbrenningen danner varm røyk som bidrar til å akselerere utviklingen dersom den ikke blir ventilert ut av rommet. Så lenge brannens energiproduksjon er høyere enn energiforbruket, vil den fortsette å vokse [8]. Den varme røyken vil legge seg opp under taket og utstråle energi til omgivelsene som fører til raskere spredning.

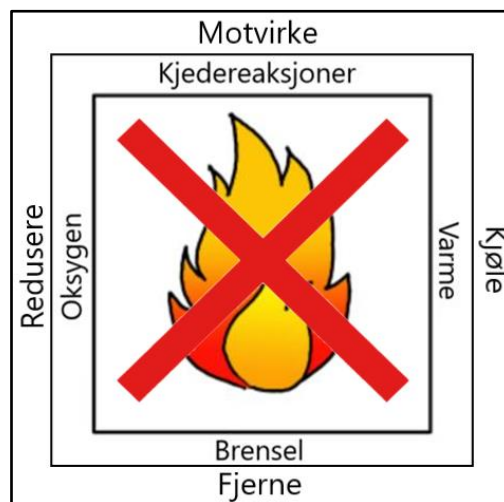
Når alt brennbart materiale i rommet er involvert i brannen kalles det en fullt utviklet brann. Dette forårsakes gjerne ved overtenning, et fenomen som oppstår når romtemperaturen når 500-600°C [8]. I denne fasen er brannen på sitt største. Her vil brannen som oftest være ventilasjonskontrollert. Overmetning skjer dersom flammebrannen har for lav tilgang til oksygen. Rommet vil da fylles av brennbare røykgasser som kan antenne dersom oksygen blir sluppet til.

Etter hvert som det brennbare materialet forbrukes, vil energiproduksjonen avta og rombrannen går over i utbrenningsfasen. Her reduseres temperaturen fordi tilgangen til brensel minker. Denne fasen vil ofte vare i lang tid [8].

## 2.2 Slokketeori

Slokkearbeid går ut på å fjerne eller redusere betydningen av en eller flere elementer i brannfirkanten. Dette gjøres enten ved å fjerne brenselet eller gjøre det ubrennbart, kjøle brannen, redusere brannens tilgang på oksygen eller motvirke brannens kjedereaksjoner.

Ulike slokkemidler som vann, gass og pulver har forskjellige egenskaper, og egner seg dermed mot ulike type branner. Vann har primært en kjølede funksjon ved å fjerne varmebidraget i brannfirkanten. Fordamping av vann krever energi som ellers ville bidratt til varmeutviklingen [11]. Fukting av materialer som enda ikke er involvert i brannen vil også forhindre videre spredning. Dampen som dannes vil fortrenge oksygen som bidrar til å redusere brannens omfang. Dette vil si at dampen opptar et visst volum i rommet, slik at andelen oksygen i luften reduseres. Primærfunksjonen for slokking med gass er å redusere brannens tilgang til oksygen. Slokkegassene som utløses vil oppta volum og redusere andelen oksygen i rommets atmosfære. Slokkepulver har også en oksygenfortrengende effekt, i tillegg til at det motvirker kjedereaksjonene i forbrenningsprosessen [11]. Tiltakene for å forhindre de ulike elementenes bidrag i brannfirkanten vises i figur 5.



Figur 5: Brannfirkanten med tilhørende slokketiltak.

## 2.3 Vann-slokkeanlegg

### 2.3.1 Sprinkleranlegg

I henhold til standarden NS-EN 12845:2015+A2 «Faste brannsløkkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold» er hovedoppgaven til et sprinkleranlegg å oppdage og slokke en brann på et tidlig tidspunkt, eller kontrollere brannen til annen slokking kan gjennomføres [12]. Et sprinkleranlegg er overordnet sett et rørsystem

som distribuerer vann fra en vannkilde til sprinklerhoder. Sprinklerhodene sprer vannet over et område hvor en brann har oppstått. Et standard sprinkleranlegg fungerer helt mekanisk. Sprinklerhodene har en glassbulbe som sprekker ved en gitt temperatur, noe som medfører en utløsning av vann som spres ut over et areal [13]. Det eksisterer også andre alternativer for hvordan et sprinklerhode utløser vann. Et preaction-anlegg vil holde rørsystemet tørt inntil deteksjon av eksempelvis røyk, varme eller karbonmonoksid (CO) åpner en sprinklerventil og fyller rørsystemet med vann. Deretter utløses vann fra enkelte sprinklerhoder når bulben sprekker. Dette er en løsning for å forhindre feilutløsning av sprinkleranlegget og motvirke frost hvor det er fare for dette [14]. En ulempe med sprinkleranlegg er sekundærskader som kan forekomme av relativt store vannmengder. En utfordring for slokkeeffekten er store takhøyder og skråtak [15]. Slokkeeffekten vil også være begrenset dersom brannen er skjult slik at vannet ikke direkte påføres forbrenningssonen.

### 2.3.2 Vanntåkeanlegg

I henhold til NS-EN 14972-1 «Faste brannslukkesystemer - Vanntåkesystemer - Del 1: Dimensjonering, installasjon, inspeksjon og vedlikehold» er hovedoppgaven for et vantåkesystem å «*levere en tåke av små dråper som kontrollerer, undertrykker eller slokker brannen*» [16]. Vanntåke distribuerer vann i små dråper (diameter mindre enn 1000 $\mu$ m) slik at vannet lettere vil fordampe, som årsak av at overflatearealet som utsettes for varme blir større. Vann i gassfase opptar om lag 1700 så stort volum sammenliknet med væske [17]. Dette vil fortrenge oksygen og redusere andelen gasser i luften som bidrar i forbrenningsprosessen. At dampen opptar volum i rommet vil bidra til en tredimensjonal slokkeeffekt som kan være mer effektiv mot skjulte branner. I tillegg fukter dampen brennbare materialer, og bidrar til å blokkere noe av strålingsvarmen [18]. Sammenliknet med et vanlig sprinkleranlegg vil vanntåkesystemer ha et betydelig mindre vannforbruk. Dette fører til mindre vannskader og man kan benytte lavere rørdimensjoner ved montering. Fordi anlegget omdanner vannet til små dråper ved hjelp av trykk, vil det ofte være behov for å installere trykkøkingspumpe. Dette kan bidra til å øke installasjonskostnadene. Likevel kan vanntåke være et rimeligere alternativ fordi det forbruker mindre vann. Da kan man unngå kostnader knyttet til å utbedre vannforsyningen, noe som ofte kreves for tradisjonelle sprinklersystem. Vanntåke er ikke inkludert som preakseptert løsning i TEK17 [19], noe som medfører krav for analyse av systemet før montering. Dette er arbeid som bidrar til økte

prosjekteringskostnader. Når det gjelder slokkeeffekt har vanntåke vist seg å kunne være mindre effektiv mot små branner, særlig i rom med mye ventilasjon [18].

## 2.4 Gass-slokkeanlegg

I henhold til standarden NS-EN 15004-1:2019 «Faste brannslukkesystemer - Gass-slukkesystemer - Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold» er gass-slokkeanlegg designet for å påføre slokkegass på en brann slik at brannen slukker [1].

### 2.4.1 Slokkegass

Alle slokkegasser bruker prinsippet om å redusere flammens tilgang på oksygen for å slukke en brann [2]. I tillegg vil noen gasser motvirke kjedereaksjoner og kjøle brannen. Slokkegass angriper en brann fra alle retninger, og gir en tredimensjonal slokkeeffekt [20]. Gassen vil også trenge inn hvor brannen er delvis skjult, og har god funksjon selv om romformer er kompliserte. Slokkegass er ansett som et godt alternativ på steder hvor andre slukkemidler vil være ødeleggende, føre til store sekundærskader, eller hvor tredimensjonal slokkeeffekt er ønsket. Ulempen med gass er at den er flyktig, noe som fører til at slukkemiddelet kan forsvinne eller tynges ut dersom utløsningsområdet ikke er tett. Dette kan føre til reantennelser eller at ønsket slokkeeffekt ikke oppnås.

Generelt deles slokkegasser i to kategorier; halokarbondgasser og inertgasser. I tillegg er det utviklet et eget regelverk for CO<sub>2</sub>, da gassen kan være dødelig ved utløsning. I praksis er det kun inerte gasser tilsatt CO<sub>2</sub> som er aktuelt for bruk i boligformål. Dette er på grunn av menneskelige helseaspekter (se 2.4.2.3 Helsepåvirkning), og fordi inertgasser verken reagerer med oksygen eller utløser kjemiske reaksjoner ved varmpåkjening [18].

### 2.4.2 IG-541

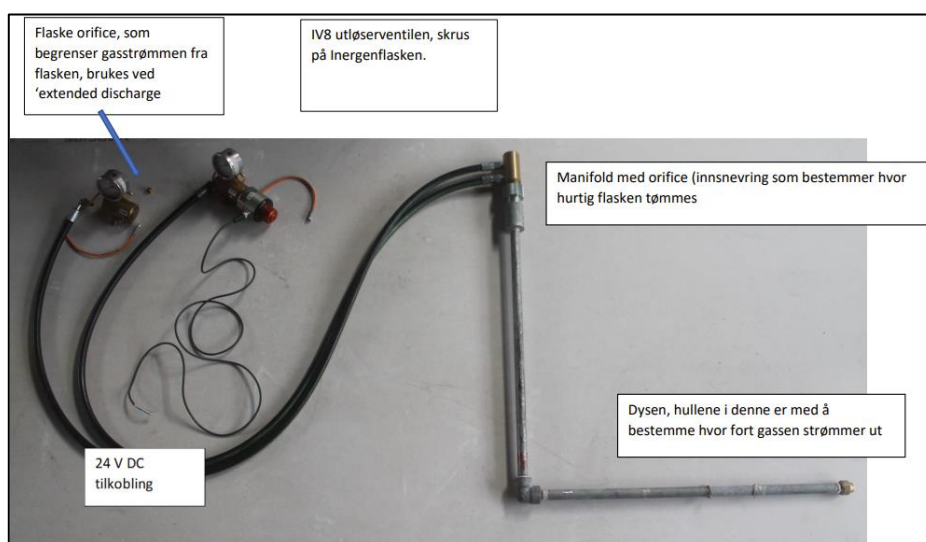
IG-541 er en lukt- og fargeløs gass inert slokkegass, sammensatt av 52% nitrogen (N<sub>2</sub>), 40% argon (Ar) og 8% karbondioksid (CO<sub>2</sub>). Gassen blir ofte omtalt som Inergen, et merkenavn mange aktører benytter. Alle gassene i sammensetningen finnes naturlig i atmosfæren og har, i motsetning til en del andre slokkeprodukter, i seg selv ingen direkte ozonskadelige effekter [21]. Tørr luft har en tetthet på 1,29 kg/m<sup>3</sup>. IG-541 har en nesten lik tetthet på 1,34 kg/m<sup>3</sup>, noe som skal bidra til at IG-541 får god holdetid. Mengde utløst gass dimensjoneres normalt slik at litt under 50% av rommets volum fylles [21]. Oksygennivået i rommet designes normalt

til å bli mellom 10 % og 13,2 % ved utløsning, noe som slokker de fleste branner. Det er ingen behov for rengjøring etter utløsning av IG-541, da det ikke skapes noen biprodukter [2].

#### 2.4.2.1 Anlegget

Overordnet består et slokkesystem med IG-541 av en flaskebank med slokkegass, en magnetventil (aktuator) som utløser gassen ved branndeteksjon, og et røرنett som fører slokkegassen til dekningsområdene. Flaskene med komprimert gass rommer mellom 2 og 140 liter, og har normalt et trykk på enten 200 eller 300 bar [22]. En gassylinder på 80 liter med trykk på 300 bar vil etter utløsning fylle et volum på  $24\text{m}^3$  ( $0,08\text{m}^3 \times 300 \text{ bar} = 24\text{m}^3$ ). Ettersom rundt 50% av rommet fylles med gass gir dette et dekningsvolum på  $48 \text{ m}^3$  [21]. Med takhøyde på 2,4m vil en 80 liters sylinder dekke et rom på  $20\text{m}^2$ .

Slokkegassen utløses ved deteksjon av en brann. Detektorer gir et signal til aktuatoren som åpner utløserventilen i gassflasken. Dersom det er flere gassylindere, kobles disse sammen i en manifold. Trykket fra den første flasken åpner de øvrige flaskene. Diameteren på en orifice som er plassert ved manifolden bestemmer utløshastigheten. Gassen føres gjennom rørsystemet til dysene som sprer gassen i området som beskyttes. Overtrykket i flaskene driver gassen ut gjennom røرنettet uten andre hjelpemidler, til flaskene er tomme. Diameteren på dyseåpningen i hvert rom er dimensjonert slik at mengden gassen blir fordelt likt relativt til romstørrelsen. Figur 6 viser et enkelt Inergen-anlegg uten flasker, og figur 7 viser flasker med IG-541 og et deteksjonssystem som løser ut anlegget.



Figur 6: Oversiktsbilde av et enkelt Inergen-system uten flasker



Figur 7: IG-541 flaskebanker plassert ved siden av et brannalarmanlegg og aspirasjonssystem.

Inergen management tool (IMT) er et program som ofte brukes i forbindelse med dimensjonering av slokkeanlegg med IG-541. Dette programmet regner blant annet ut parametere som åpningsdiameter på dyser og orifice, designkonsentrasjon, og mengde gass som kreves; basert på byggets fareklasse, størrelse og utforming.

Anlegget kan designes på forskjellige måter ut ifra byggets bruk og ønsker. Slokkesystemet kan eksempelvis dekke forskjellige soner, hvor slokkegassen kun til den sonen hvor en brann er detektert [22]. Én flaskebank kan på denne måten dekke et større område.

Dersom man ønsker å dempe lyden fra utløsning er det mulig å installere lyddempere på dysene. Det er allikevel intuitivt å tenke at mye bråk ved utløsning kan påskynde evakuering. Samtidig kan dette medbringe negative konsekvenser som redsel eller irritasjon.

I institusjoner eller omsorgsboliger kan det monteres institusjonsdyser, som er skjult frem til utløsning. Dysene kan også monteres skjult bak innredning. Dette forebygger blant annet utilsiktet demontering og hærverk av anlegget.

Det er mulig å utvide flaskebanken med den hensikt å etterfylle gass til utløsningsområdet og øke holdetiden (extended discharge). Aktiveringen av gassen i den forlengede utløsningen aktiveres på samme måte som de øvrige flaskene, men gass-strømmen begrenses av en orifice som er plassert i flaskeventilen. Dette skaper en lang utløsningstid for de ekstra flaskene.



Den forlengede utløsningen kan enten bestå av ren IG-541, eller slokkegass blandet med luft for å motvirke for lave oksygenkonsentrasjoner. I tilfeller hvor luft tilføres i tillegg til slokkegass, vil det være en frittstående flaske med luft, som løses ut på samme måte som slokkegassen.

#### *2.4.2.2 Deteksjon*

For å få en adekvat utløsning av slokkeanlegg med IG-541, er det nødvendig å vurdere sensitivitet og pålitelighet ved valg av detektoren som skal løse ut anlegget. Valg av detektor er viktig for å unngå feilutløsning, samtidig som den skal detektere et faktisk brannutløp tidlig. Normalt skal det detekteres to ulike alarmer før slokkegass utløses.

De vanligste prinsippene for deteksjon er røyk- (optisk), varme-, CO-, og flammedeteksjon [23]. Prinsippene har forskjellige egenskaper som burde hensyntas ved prosjektering når utløsning av slokkeanlegg skjer ved deteksjon. Sensitiviteten for de forskjellige prinsippene kan justeres slik at deteksjon, alarm og utløsning av slokkemiddel skjer på et hensiktsmessig tidspunkt. Forskjellige deteksjonssystemer er punktdetektor, aspirasjonssystem og linjedetektor. Disse overvåker et av deteksjonsprinsippene, og gir utslag når de når et satt kriterium. Det finnes også multikriteriedetektorer som overvåker flere deteksjonsprinsipper samtidig. Utslag på detektorer kan vises på en brannalarmsentral.

#### *2.4.2.3 Helsepåvirkning*

Brå reduksjon av oksygenivå ned til 10%, vil over tid ha fysiologiske konsekvenser for mennesker. I et slikt miljø vil forbruket av oksygen være høyere enn behovet for de fleste. Man risikerer da å havne i en tilstand kalt hypoksi, hvor kroppens vev får for lite oksygen [24]. Typiske symptomene på mild hypoksi er angst og urolighet, samt blålig misfarging av lepper og slimhinner. De kognitive evnene svekkes i takt med synkende mengde oksygen og økt eksponeringstid [24].

Kjemoreseptorer i hjernestammen overvåker blant annet mengde karbondioksid i blodet og regulerer pustefrekvensen deretter [25]. For å kompensere for lavt oksygenivå i utløsningsarealet er IG-541 tilsatt CO<sub>2</sub>. Dette fører til økt pustefrekvens og bedre utnyttning av oksygenet for personer som befinner seg i miljø hvor slokkegassen er utløst.

Ifølge overlegene Jansen og Skraastad medfører kortidseksponering i omgivelser med lavt oksygenivå, kompensert for med CO<sub>2</sub>, lav helsefare for friske mennesker [26], [27]. Imidlertid

påpeker Skraastad at det er betydelig forskjell på individuell toleranse for hypoksi. Personer med for eksempel lungesykdom eller nedsatt lungefunksjon er mer utsatt for hypoksi, enn friske. Både Jansen og Skraastad konkluderer med at eksponering i angitt atmosfærisk gasstrykk inntil 30 minutter utgjør lav helserisiko for de aller fleste, gitt at det ikke er kombinert med store eller langvarige fysiske belastninger.

## 2.5 Prosjektering

Ved brannteknisk prosjektering må man oppfylle funksjonskrav som er beskrevet i Byggteknisk forskrift (TEK17). Forskriftens veiledning (VTEK17) gir konkrete løsninger som oppfyller funksjonskravene. Dersom disse følges kreves det ingen videre dokumentasjon på valget av løsning. TEK17 §2-2 (2) bokstav b beskriver at dersom det benyttes løsninger som ikke er beskrevet i VTEK17 (fravik), er man nødt til å analysere løsningen og dokumentere at det aktuelle funksjonskravet er oppfylt.

Bygg deles inn i risikoklasser fra 1 til 6 basert på risikoen en brann utgjør for skade på liv og helse. Risikoklassene ligger til grunn for hvordan byggverk skal prosjekteres og utføres for å sikre rømning og redning ved brann [19]. Høyere risikoklasse gir større krav til brannsikkerhet. Byggeteknisk forskrift fastslår at «*Bolig spesielt tilrettelagt og beregnet for personer med funksjonsnedsettelse (...)*» [19] skal plasseres i risikoklasse 6.

TEK17 §11-12 (1) bokstav b beskriver at alle bygg i risikoklasse 6 skal ha automatisk brannslokkeanlegg for å øke tilgjengelig tid for rømning og redning [19]. Sprinkleranlegg prosjektert etter standarden NS-EN 12845:2015+A1:2019 [12] er presentert som preakseptert løsning i veiledningen til dette kravet. Standarden beskriver at sprinkleranlegg som prosjekteres i lav fareklasse skal opprettholde dimensjonert vanntilførsel i minimum 30 minutter. Dette kan tolkes som at forskriftens krav er oppfylt når slokkeanlegget opprettholder tilgjengelig rømning- og redningstid i 30 minutter. Samtidig kan dette forstås som at det godtas at personer oppholder seg i utløst område i opptil 30 minutter.

For å prosjektere Inergen-anlegg kreves det dokumentasjon på at løsningen gir tilsvarende funksjonalitet, pålitelighet og sikkerhet som et preakseptert sprinkleranlegg. Det må dokumenteres at slokkemiddelet som brukes ikke medfører fare for liv og helse.

Veiledningen til TEK17 §2-1 (3) beskriver at «*(...) Norsk Standard eller likeverdig standard kan benyttes for å dokumentere at krav og preaksepterte ytelser er oppfylt*» [19]. For å kunne ta i

bruk standarder som ikke er preaksepterte må ansvarlig prosjekterende vurdere om standarden er egnet og gyldig for å kunne oppfylle det aktuelle kravet i TEK17. Veiledningen til bestemmelsen i §11-12 utdyper videre at man skal benytte standardene fullt ut, og at deler av ulike standarder ikke kan kombineres.

Standarden som er aktuell for bruk ved prosjektering av gass-slokkeanlegg i Norge er NS-EN 15004-1:2019 «Faste brannslukkesystemer - Gass-slukkesystemer - Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold». I noen tilfeller brukes også NFPA 2001 «Clean Agent Fire Extinguishing Systems». Standardene behandler alle slukkegasser likt, og begrenser blant annet personopphold til fem minutter etter at designkonsentrasjonen ved utløsning er nådd. Anlegget bruker vanligvis to minutter på å nå designkonsentrasjonen, noe som gir en reell oppholdstid på syv minutter etter detektert brann. Denne oppholdstiden er for kort til å gi like god sikkerhet som den preaksepterte ytelsen. Den forlengede oppholdstiden bruk av IG-541 tillater blir ikke hensyntatt av disse standardene. Av denne grunn kan det stilles spørsmål til relevansen for bruk av disse standardene ved prosjektering av IG-541 gasslokkeanlegg. Del 10 av NS-EN 15004 «Faste brannslukkesystemer - Gass-slukkesystemer - Del 10: Fysiske egenskaper og systemutforming av gass-slukkesystemer for IG-541-slukkemiddel» er utarbeidet spesielt for IG-541 [28]. I denne standarden er det svært lite informasjon som omhandler personsikkerheten til slukkegassen, og dette er derfor et dårlig hjelpemiddel ved prosjektering av systemet.

Det er ingen krav til å bruke standarder ved prosjektering, og det er mulig å utføre en fullstendig analyse av Inergen-anlegget. Tekniske løsninger i NS-EN 15004-1:2019 kan brukes i analysearbeidet, men bruksområdene som beskrives i standarden må verifiseres for boligbruk. Per i dag er det ingen standardisert måte å prosjektere et Inergen-anlegg som hensyntar den forlengede oppholdstiden IG-541 tillater. Arbeidsgruppens forståelse er at usikkerhet rundt dokumentasjonskrav og kostnader knyttet til analysekrav vil være begrensende for implementering av innovative løsninger for automatiske slukkesystemer.

I henhold til Forskrift om organisering, bemanning og utrustning av brann- og redningsvesen og nødmeldesentralene (Brann- og redningsvesenforskriften) §22, skal utrykningstiden til brann i «sykehus, sykehjem og lignende institusjoner som krever assistert rømning» ikke overstige 10 minutter [29]. For å sikre liv og helse i omsorgsboliger vil det være et absolutt

minimumskrav at brannslukkesystemet skal kontrollere brannen i tiden det tar for brannvesenet å redde brukerne av bygget.

## 2.6 Dødsbranner knyttet til rus og psykiske lidelser

Det finnes mye forskning, både fra Norge og resten av verden som trekker en klar sammenheng mellom nedsatt funksjonsevne og omkomne i brann. Psykiske lidelser og rusmisbruk kan svekke reaksjonsevnen og redusere konsekvensenkningen. I tillegg kombineres dette ofte med aktivitet som øker sannsynligheten for brannstart, slik som røyking og bruk av ild [30]. Det er rimelig å anta at en stor del av brukerne av ROP-boliger er røykere. Ifølge tall hentet fra rapport om dødsbranner i Norge fra 2005 til 2014 utarbeidet av RISE var det bare 13% av omkomne i brann hvor offeret ikke hadde kjent rusmisbruk eller psykisk lidelse, røyket eller var påvirket av alkohol ved dødsfall [30]. Mennesker som lever med rusavhengighet og psykiske lidelser har et større behov for beskyttelse mot brann i det daglige.

### 2.6.1 Rusmisbruk

Dødsbranner hvor mennesker med rusproblemer blir offer er dessverre ikke uvanlig. En svensk studie der det ble utført rettsmedisinske analyser av 921 omkomne i brann fra 1992 til 2002 viste at 43% av de omkomne hadde alkohol i blodet da ulykken inntraff. Andelen var betraktelig høyere (ca. 70%) for aldersgruppen 30-60år, der menn er overrepresentert [31]. Dette korresponderer også med resultater hentet fra tilsvarende undersøkelser gjort av Norsk Brannvernforening, som konkluderer med at om lag 2/3 av menn i aldersgruppen 30-60år omkommet i brann var alkoholpåvirket ved dødsfallet [30]. I den svenske undersøkelsen ble det også funnet spor etter andre rusmidler i 166 av de 921 omkomne. Funnene av narkotika ble hovedsakelig gjort i de yngre aldersgruppene [31]. Alkohol og andre rusmidler viser seg altså å ha en betydelig og direkte kobling til dødsfall i brann. Det kan også være rimelig å anta at dette problemet vil øke i omfang, da forbruk av alkohol og illegale rusmidler i Norge har økt siden 1970-tallet [31] [32].

### 2.6.2 Psykiske lidelser

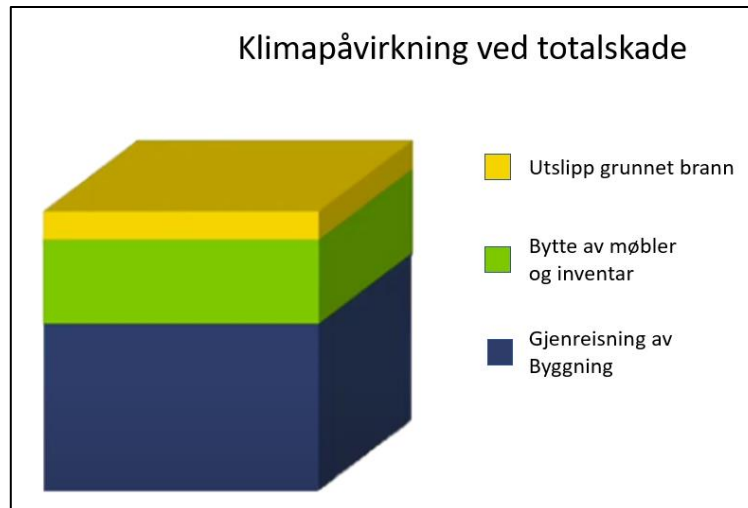
I likhet med rusmisbruk viser statistikk at mange omkomne i brann har en kjent psykisk lidelse. Ifølge analysen av dødsbranner i Norge mellom 2005 og 2014, ble 391 av de totalt 571 dødsfallene etter brann i perioden analysert. Tallene viser at 44,3% av de omkomne hadde en

kjent psykisk lidelse. For aldersgruppen under 67 år var andelen hele 51,7% [30]. Rapporteringen kan også inneholde en del mørketall da den omkomne kan ha hatt psykiske problemer uten at dette har blitt fanget opp i journal. Mange med psykiske lidelser i alle aldre vil også være innlagt i institusjon, eller få annen oppfølging som bidrar til økt trygghet. Dette betyr at hjemmeboende med psykiske lidelser som i stor grad må klare seg selv kan være en svært utsatt gruppe.

## 2.7 Brannsikkerhetstiltaks påvirkning på klima og miljø

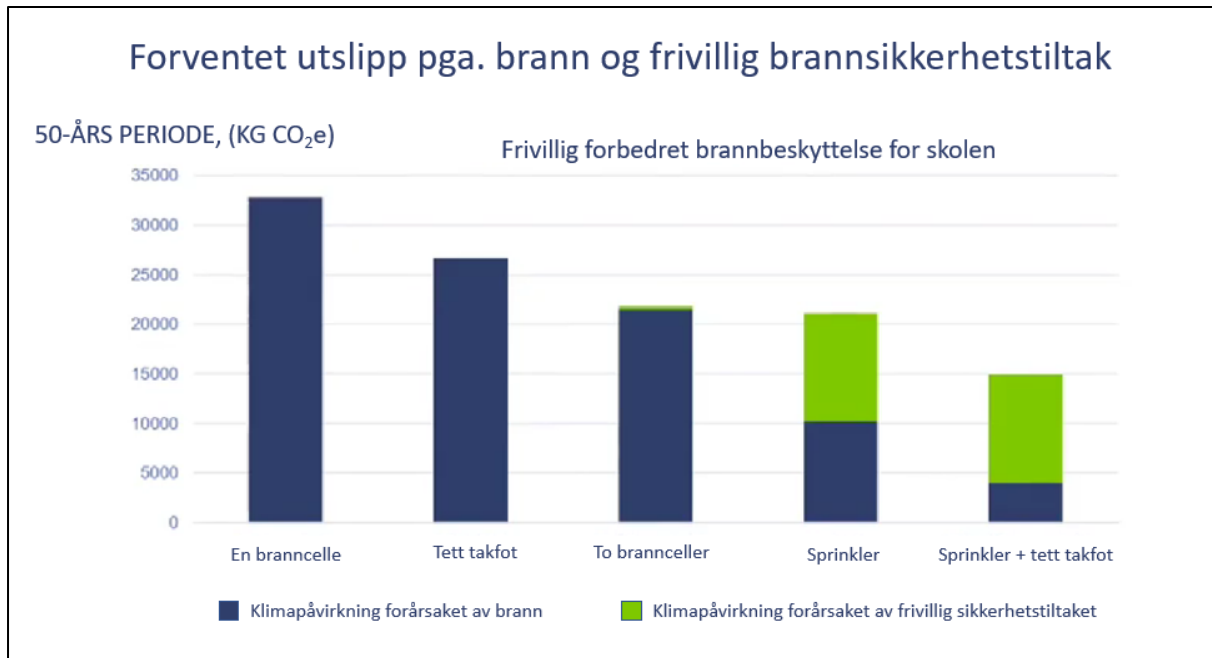
Bygg og anlegg representerer internasjonalt om lag 40% av alle klimagassutslipp, noe som gjør at bransjen tvinges til å handle mer bærekraftig [7]. Boligbranner vil i seg selv kunne påvirke miljøet på en negativ måte. I en sirkulær økonomi ønsker man at alle materialer, også de som brukes i byggverk, skal resirkuleres og gjenbrukes for å bevare ressurser. Materialer som går tapt i en brann vil tas ut av dette kretsløpet. Miljøet vil også direkte kunne være skadelidende av brannpåvirkning. Avhengig av hva som involveres i brannen og mengden ufullstendig forbrenning vil det kunne spres uønskede giftige gasser, sot og metaller til omgivelsene. Røykskyen som oppstår kan transportere disse stoffene og påvirke økosystemer, drikkevann osv. Spredning av giftstoffer kan også foregå direkte til grunnen via slokkevann. For å redusere disse negative konsekvensene bør påbegynte branner slokkes så tidlig som mulig [33].

Når brannvesen starter slokkearbeid i en bygning, vil man i stor grad kjøle ned materialer og hemme flammenes tilgang på oksygen. Dette bidrar til en større andel av ufullstendig forbrenning. Dersom brannen har vært fullt utviklet i lang tid, kan det i noen tilfeller føre til lavere utslipp og la bygningen som er overtent brenne ut. Dette er fordi det kan føre til mindre ufullstendig forbrenning [33]. De største utslippsmengdene for det globale klimaet er ofte knyttet til gjenoppbygging av konstruksjonen som er ødelagt. Dette skyldes anvendelse av nye byggematerialer som betong og metaller, hvilket bidrar til et relativt stort klimaavtrykk. Erstatning av inventar etter brannforløpet bidrar også negativt i klimaregnskapet [34]. Eksempel på utslipp etter totalskade av en svensk skole, gjengitt fra Skanska, vises i figur 8.



Figur 8: Eksempel på utslipp ved en totalskadet skole utarbeidet av Skanska [24]. Rekonstruert til norsk.

Med bakgrunn i selve brannens potensiale for forurensing og utslipp knyttet til konstruksjon av nybygg, kan det være lønnsomt for klima og miljø å iverksette tiltak som kan hindre at brann oppstår og eventuelt begrenser skadeomfanget. Dette bør veies opp mot de økte utslippene som følger ved installasjon av slokkeanlegg, hvor særlig bruk av ekstra stål bidrar negativt. Det kan være vanskelig å konkludere med hvilke tiltak som bidrar positivt i klimaregnskapet og hvordan man konkret skal regne på det. Skanska har utarbeidet en modell hvor man beregner sannsynlighet og konsekvens for brann i et gitt bygg, som uttrykker hvor stort klimaavtrykk dette statistisk vil representere. Deretter legges ulike brannsikringstiltak til i beregningene. Tiltakene vil redusere den potensielle brannens sannsynlighet og konsekvens, men også kunne føre til økt utslipp som følge av materialforbruk [33]. Figur 9 viser eksempel fra et tilsvarende skolebygg som i Figur 8 Dette eksempelet er lite spesifisert og er ikke nødvendigvis direkte overførbart til omsorgsboliger i Norge, som denne oppgaven omhandler. Likevel kan det tenkes at den relativt høye sannsynligheten for brannstart i boliger for mennesker med ROP-lidelser vil gjøre det lønnsomt for klima å installere slokkeanlegg som tar hånd om brann i en tidlig fase. Installering av automatisk slokkeanlegg er lovpålagt for byggverk i risikoklasse 6 i henhold til TEK17 § 11-12. [19]



Figur 9: Eksempel på forventet utslipp med ulike sikkerhetstiltak på en skole utarbeidet av Skanska [24]. Rekonstruert til norsk.

### 3. Metode

Dette kapitlet beskriver metodikken for oppgaven og hvordan arbeidsgruppen har gått frem for innhenting av data som brukes til å svare på problemdefinisjonen.

Studien blir i stor grad bygget opp rundt et forskningsdesign, hvor to serier med tester la grunnlag for datainnsamling rundt deteksjon, slokkeeffekt, og forhold i bolig ved brannforløp og aktivering av slokkeanlegget. En innledende litteraturstudie ble gjennomført for å legge et teoretisk grunnlag for løsning av problemstillingen, og for å fastsette akseptkriterier. En gjennomgang av tilgjengelig brannstatistikk var utgangspunktet for valg av forsøksscenarioer. Dette ble supplert av intervjuer av fagpersoner som er knyttet opp mot de statistiske kildene. Akseptkriterier ble satt med utgangspunkt i regelverks krav til sprinkleranlegg, men der det mangler parametere ble kriteriene satt ut fra kvalitative vurderinger av annen tilgjengelig data. Data om kostnader knyttet til de forskjellige slokkesystemene er innhentet gjennom kontakt med fagpersoner, totalleverandører og ekstern veileder.

#### 3.1 Søkekriterier ved litteraturstudie

Søkemotorer som er knyttet til branningeniørstudiet i HVL sitt digitale bibliotek er brukt som utgangspunkt for valg av kilder.

Ved fastsettelse av akseptkriteriene som beskriver krav til slokkeanlegget, var det i utgangspunktet ønskelig å bruke krav som er satt til sprinkleranlegg i boliger. Grunnen til dette er at ved bruk av andre type slokkeanlegg må det dokumenteres tilsvarende sikkerhet som for sprinkler, ved å hindre, begrense eller slokke en brann der den oppstår [19]. Varme er det eneste spesifiserte sammenliknbare akseptkriteriet arbeidsgruppen er kjent med fra standarder for sprinkleranlegg for boliger. Standarden SN-INSTA/TS 950:2014 «Analytisk brannteknisk prosjektering - Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk», ble derfor brukt ved fastsettelse av akseptkriterier for parametere som skal sikre personsikkerhet. Ettersom standarden beskriver tålegrenser i forbindelse med rømning, ble disse tallene sammenliknet med forskning for å hensynta faren for lengre oppholdstid. Følgende søkekriterier ble lagt til grunn: brann, toksikologi og menneskelige tålegrenser.



## 3.2 Kvalitativ arbeidsmetodikk

### 3.2.1 Kvalitativ dataanalyse

I innledende undersøkelser av problemfeltet ble det gjort datainnhenting for å sikre samfunnsmessig relevans for prosjektet. Disse undersøkelsene danner også grunnlag for forsøks-scenarioene. Datasøket hadde til hensikt å avdekke relevant statistikk og andre forhold som kjennetegner boligenes antatte beboere. Det ble gjennomført strategisk litteratursøk med følgende inklusjonskriterier; brannstatistikk, rus og psykiatri. I tilfeller der arbeidsgruppen trengte utfyllende informasjon, ble det gjennomført intervjuer med relevante instanser.

Utgangspunktet for valg av forsøks-scenarioer er basert på innhentet statistikk fra DSB sin nettside [brannstatistikk.no](http://brannstatistikk.no), en database som fremstiller statistikk fra brannvesenets innrapporteringer [35]. Data ble hentet fra næringsgruppe 87.202 (institusjoner og omsorgsboliger for rusmiddelbrukere) og 87.203, (bofelleskap for psykisk utviklingshemmede). I tillegg til databasen er det valgt å hensynta tall som fremkommer i RISE sin rapport «Analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2005 – 2014» [30]. Her blir blant annet politiets etterforskningsrapporter mellom 2005 og 2017 gjennomgått. Rapporteringen fra politiet varierer i detaljrikdom, noe som gjør det utfordrende å fremlegge sikre beslutninger. Arbeidsgruppen har derfor gjennomført intervjuer av en representant fra DSB, samt Oslo Politidistrikt for å utdype og forklare datagrunnlagene.

### 3.2.2 Kvalitative intervjuer

For å tilføye informasjon til innhentet data ble det gjennomført flere kvalitative intervju av relevante instanser. De fleste intervjuene ble gjennomført over telefon etter semistrukturert metode. Der intervjuobjektet ikke var tilgjengelig via telefon ble informasjon innhentet via e-post. Spørsmålene var fastsatt på forhånd, samtidig som respondenten fikk mulighet til å greie ut om temaer som ble tatt opp utover hva som var planlagt [36]. Tabell 1 viser hvem som ble kontaktet, og hvilke temaer som ble diskutert.

Intervjuobjekt	Tema
<b>Espen Rostrup Nakstad</b> - Direktør for CBRNE-senteret ved Oslo universitetssykehus.	How CO-poisoning in a fire affects people who smoke. Communication via e-mail.
<b>Frode Andersen</b> - Politioverbetjent ved avsnitt for spesiallovgivning i Oslo Politidistrikt.	Works in the department that has delivered large parts of the relevant fire statistics to DSB. His view on selected scenarios and experiences with the risk group.
<b>Geir Grønsholt</b> - Fagsjef skadeforsikring KLP.	Costs for insurance company linked to damage in ROP-houses, especially in fire.
<b>Stine Thuen Spissøy</b> - Prosjektleder hos Karmøy kommune.	Obtaining data in connection with mapping routines and costs for ROP-houses. Set up the working group in contact with affected groups and entrepreneurs in the Karmøy project.
<b>Vidar Falkenberg</b> - Sjefingeniør DSB.	Foundation for which scenarios should be tested in the trial. Identification of relevant fire statistics from DSB.
Responsibility personnel and affected users of ROP-houses.	Typical and realistic fire scenarios for current residents.

Tabell 1: Gjennomførte intervjuer

### 3.4 Metode for forsøk

Forsøksdesignet består av to serier med forsøk, hvor resultatene fra den første serien legger premissene for utførelsen av den andre serien. Den første forsøksserien har til hensikt å avdekke hvilke kriterier som skal løse ut slokkegass for det aktuelle anlegget. Den andre serien av forsøk skal gi data for å fastslå slokkeeffekt og hvordan forholdene i boligen blir etter utløsning av gass. Visuelle observasjoner og kvalitative vurderinger av dataen fra det første forsøkssettet gir grunnlaget for fastsettelse av utløsningskriterier. Resultatene fra det andre forsøkssettet vil bli målt opp mot akseptkriteriene som er beskrevet i 4. Akseptkriterier.

Forsøkene som gjennomføres i den andre forsøksserien skal være virkelighetsnære og representative for faktiske branntilløp. Scenarioene er bestemt etter analyse av statistikk fra DSBs nettside branntatistikk.no og intervju med Oslo politidistrikt, DSB, ansvarspersonell fra Karmøy kommune og pårørende til personer i risikogruppen.

Forsøkene gjennomføres i ulike deler av en testleilighet (se 5. Testoppsett for detaljert beskrivelse av objektet). For å bekrefte eller avkrefte om Inergen- og deteksjonssystemet er en god løsning for automatisk slokkeanlegg, må forsøkene gjennomføres både med dører og vinduer helt lukket, delvis åpne og helt åpne med gjennomtrekk.

#### 3.4.1 Første forsøksserie

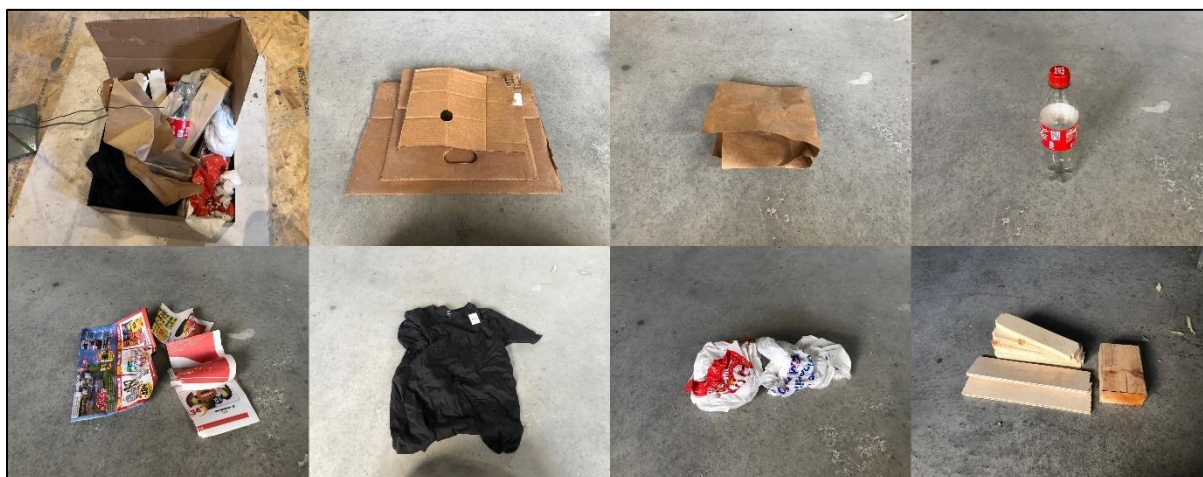
For å skape et bredt nok erfaringsgrunnlag til å sette kriterier som løser ut anlegget på rett tidspunkt vil det utføres forsøk med branntilløp i forskjellige materialer, og i forskjellige rom i leiligheten. I tillegg vil det gjennomføres forsøk med sigarrøyking og røykutvikling uten åpne flammer for å minske anleggets sårbarhet mot feilutløsninger. Med bakgrunn i dette er det fastsatt at første forsøksserie skal bestå av tester med oppvarming av treverk som fører til ulming og senere spontanantennelse, ulmebrann i bomull, brann i kar med heptan og brann i skumplast. Forsøkene vil bli utført både med og uten ventilasjon for å hensynta anleggets innvirkning på deteksjonen. Alle forsøk i denne serien vil gjennomføres uten utløsning av IG-541. Det er ikke utarbeidet en detaljert beskrivelse av metoden for gjennomføringen av første forsøksserie. Grunnen til dette er at arbeidsmetoden krevde at deteksjonsanlegget og forutsetningene kontinuerlig ble justert. Korrigeringer ble gjort mellom forsøk, med bakgrunn i observasjoner og målinger ved forsøkene. Den første forsøksserien fastsetter hvilke kriterier, samt følsomheten som skal utløse slokkegassen.

#### 3.4.2 Andre forsøksserie, scenario A

Under en boligmesse for Karmøy-prosjektet kontaktet arbeidsgruppen pårørende til personer med rusavhengighet og psykiske lidelser og ansatte i kommunen for å avdekke hvilke brannscenarier de har erfart. Det kom frem at tilsiktede påtenninger og bålpyring innendørs representerte en stor del av branntilfellene. I tillegg fremkom det at mange av disse brukerne hadde en livstil hvor opphopning av søppel og andre gjenstander i bruksarealene er vanlig. Med bakgrunn i dette vil det bli gjort forsøk med brann i en blanding av materialer i leilighetens stue, hvor det antas at beboeren vil oppholde seg mye. Frode Andersen fra Oslo politidistrikt og Vidar Falkenberg fra DSB, som begge ble presentert for forsøket, mente at dette var relevant. Scenariet har hovedsakelig til hensikt å undersøke IG-541 sine slokkeegenskaper ved mye brannenergi og ulik grad av gjennomtrekk i brannrommet, samt å avdekke forhold i leiligheten etter utløsning. Materialet som skal brukes i dette scenariet er listet opp i tabell 2 med bilde av materialene og oppsettet i Figur 10.

Forsøk	Objekt	Stoff/type	Vekt
A1, A2, A3	Banankasse	Hard papp	474,7g
	Bunn av banankasse	Myk papp	48,2 g
	Plastflaske 0,5 L	PET - Polyetylentereftalat	22,8 g
	Avispapir	Tremasse	40,1 g
	T-skjorte	Bomull	151,2 g
	2 Plastposer	PE - Polyeten	36,2 g
	Treverk/småplank	Furu	926,1 g

Tabell 2: Oversikt over materiell og vekt som brukes i scenariene A1-A3



Figur 10: Fremstilling av materialer for scenario A

For dette scenariet legges alle materialene i et metallkar og antennes ved hjelp av en tennbrikett i bunn av brenselet. Karet er plassert i midt i stuen, 1,70 meter fra veggen hvor sofaen er plassert (se 5. Testoppsett). Det antas at brannutviklingen vil være rask. Etter antennelse vil deteksjon, utløsning og slokking skje automatisk. For å overvåke eventuelle re-antennelser og holdetid, vil forsøkene pågå i minimum 10 minutter etter utløsning. Scenariet skal gjennomføres tre ganger: et forsøk med begge inngangsdører åpne, et med en dør åpen og et med alle dører lukket.



Figur 11: Oppsett av scenario A

For scenario A antas følgende hypoteser:

- Lang deteksjonstid på grunn av ventilasjonsanlegget
- Temperaturen vil ikke nå kritisk nivå
- CO vil ikke nå kritisk nivå for personopphold
- Sikt vil ikke nå kritisk nivå
- Brannen vil ikke slokkes med én eller to dører åpne
- Brann vil slokkes med alle dører lukket

### 3.4.3 Andre forsøksserie, scenario B

Av de 100 rapporterte tilfellene for de aktuelle næringsgruppene i brannstatistikk.no, er objektet brannen startet i spesifisert i 16 av dem. Ifølge Vidar Falkenberg som er sjefsingeniør i DSB, spesifiseres arnested gjerne i større branner der politi er involvert. De resterende 84 tilfellene kan altså antas å generelt ha vært mindre alvorlige. I de 16 tilfellene som kan antas å være alvorlige, startet fem av dem i sengetøy og to i madrass. Man kan også lese at i hele 13 av 18 tilfeller der politiet har rapportert hvilket rom brannen startet i, oppstod brannen på soverom [35]. Brann på soverom er altså et hyppig scenario, samtidig som konsekvensene blir store.

Scenariet har til hensikt å teste IG-541 sine slokkeegenskaper og forhold i små rom ved brann i madrass/sengetøy. Denne typen scenario kan forekomme både ved uhell, og ved brannstifting. Materialet som skal brukes i dette scenariet er listet opp i tabell 3, med bilde av materialene i Figur 12.

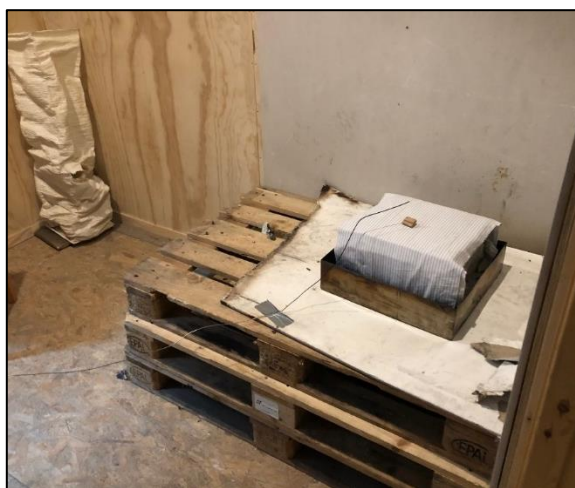
Forsøk	Objekt	Stoff/type	Vekt
B1, B2	Laken	50% Bomull, 50% Polyester	185,8 g
	Overmadrass, 30x30x5,5	Skumgummi	100 g
	Trekk til overmadrass	Polyester	118 g
	Undermadrass, 30x30x13	Skumgummi	260 g
	Trekk til undermadrass	Bomull	20,7 g

Tabell 3: Oversikt over materiell og vekt som brukes i scenariene B1 og B2



Figur 12: Fremstilling av materialer for scenario B

Materialene er lagt i et metallkar, som er plassert 20 cm ut fra veggene i hjørnet hvor senga er plassert (se Figur 13 og kapittel 5. Testoppsett). Antennelsen av madrassen vil skje ved at en tennbrikett antennes på oversiden av madrassen. Det er forventet at antenningsfasen vil være lang. Etter antennelse vil deteksjon, utløsning og slokking skje automatisk. Scenariet vil bli gjennomført to ganger: Et forsøk med soveromsvinduet helt åpent, og et med lukket vindu.



Figur 13: Oppsett av scenario B

For scenario B antas følgende hypoteser:

- Lang deteksjonstid på grunn av ventilasjonsanlegget
- Temperaturen vil nå kritisk nivå
- CO vil ikke nå kritisk nivå for personopphold
- Sikt vil nå kritisk nivå
- Brannen vil ikke slokkes med vindu åpent
- Brann vil slokkes med vindu lukket

#### 3.4.4 Komfyrbrann/tørrkoking

Et av de mest rapporterte branntilløpene i omsorgsboliger er brann på kjøkken i forbindelse med matlaging. Av 100 rapporterte uttrykninger siden 2016 for de aktuelle næringsgruppene, er 40 arkivert under «*branntilløp komfyr*» [35]. Fordi dette er såpass dominerende i statistikken velger arbeidsgruppen å adressere tema. Daglig leder i KOMBRA AS, Thor K. Adolfsen, har utført en rekke forsøk med mat som «glemmes» på komfyren. Disse forsøkene viser at selv om antenkelige varer som fett, olje og sukker er tilsatt i kokekaret, oppstår sjeldent gløde- eller flammebrann når andre matvarer er tilsatt [37]. Kollegiet for brannfaglig terminologi fastslår at et branntilløp ikke nødvendigvis utvikler seg til brann [38], noe som kan peke på at statistikken fort kan tolkes mer dramatisk enn hva som er virkeligheten. I henhold til brannvesenets innrapportering har kun 10,3% av de rapporterte hendelsene på komfyr mellom 2016 og 2020 ført til reell brann [37]. 53,3% av disse har igjen ingen spredning utover arnestedet. En svært stor andel av brannvesenets innrapporterte utrykninger til komfyrbranner er lite alvorlige. Omsorgsboligene på Karmøy skal installeres med komfyrvakt og konstant avtrekk fra kjøkkenvifta. Branntilløp som utløser utrykninger på grunn av matlaging er ikke ansett som en stor fare for beboernes sikkerhet. Derfor er det valgt å ikke gjennomføre forsøk med branntilløp på komfyr, på tross av høy innrapportering av dette.

### 3.4.5 Utførelse

En viktig målsetning var at forsøkene ble gjennomført som tiltenkt, på likest mulig vis og at alle målinger ble loggført. For å tilfredsstille dette ble det utarbeidet en sjekkliste med punkter som ble gjennomgått før og etter hvert forsøk. I tillegg ble et observasjonsskjema brukt underveis i forsøkene som hjelpemiddel til å sikre data. Disse skjemaene vises i vedlegg A – sjekkliste og vedlegg B – observasjonsskjema.

Før alle forsøk ble forsøksboligen varmet opp med tre varmeovner. To av disse ble flyttet til ventilasjonsanleggets innsug når dette ble skrudd på før hvert forsøk. Temperaturen ved antennelse varierte med opp til 5 grader fra gulv til tak, men var relativt lik ved alle forsøkene. Etter måleutstyret ble startet sattes forsøkene i gang ved påtenning av tennbrikett med en lighter. Deteksjon, utløsning av gass og eventuell slokking foregikk uten menneskelig påvirkning. Ventilasjonsanlegget ble avskrudd ved første alarm. Mellom hvert forsøk ble leiligheten luftet ut ved hjelp av vifte og gjennomtrekk. Data fra måleutstyret og brannalarmsentralen ble lagret før utstyret ble tilbakestillt.



## 4. Akseptkriterier

### 4.1 Oppsummering av akseptkriteriene

Tabell 4 nedenfor viser en oversikt over parametere som forsøksresultatene skal vurderes etter. Videre i kapitlet utdypes valg og begrunnelse for fastsettelse av akseptkriterier. I tillegg vil forsøkene bli filmet i sin helhet under gjennomføringen.

Disse akseptkriteriene gis enten status som sikkert og ikke sikkert eller godkjent og ikke godkjent. Der parametere er oppgitt som godkjent eller ikke godkjent er akseptkriterier satt ut fra gjeldende krav for sprinkleranlegg i bolig, for å gi et sammenlikningsgrunnlag ved prosjektering. Dette gjelder kun krav til varme. Der parameterne er oppgitt som sikker eller ikke sikker, er kriteriene satt ut fra menneskers tålegrenser, med formål å sikre personsikkerheten. Dette gjøres som følge av mangel på krav i standarder og komparativ data fra tidligere gjennomførte sprinklerforsøk. Det er ikke gjort undersøkelser som påviser at sprinkleranlegg overholder akseptkriteriene som defineres som sikker eller ikke sikker. Disse kriteriene er derfor ikke nødvendige å hensynta ved komparativ analyse, men vil gi et mål på sikkerheten til beboer ved brantilløp. Forsøk gjennomført i bacheloroppgaven av Lindøe et al. sammenlikner forhold etter utløst Inergen- og sprinkleranlegg som blant annet viser at CO-nivå vil være høyere ved brann i mindre rom beskyttet med konvensjonelle sprinkler [39].

Parametere	Akseptkriterier	Status
<b>Sikt</b>	$\geq 3\text{m}$	Sikkert/ikke sikkert
<b>Varme tak</b>	$\leq 320^{\circ}\text{C}$	Godkjent/ikke godkjent
<b>Varme 1,6m høyde</b>	$\leq 95^{\circ}\text{C}$	Godkjent/ikke godkjent
<b>Varme 1,6m høyde</b>	$\geq 55^{\circ}\text{C}$ maks 2 min	Godkjent/ikke godkjent
<b>CO<sub>2</sub></b>	$\leq 5\%$	Sikkert/ikke sikkert
<b>O<sub>2</sub></b>	$\geq 10\%$	Sikkert/ikke sikkert
<b>O<sub>2</sub> holdetid</b>	10 minutter med 10-13,5% ved 1,85m høyde	Sikkert/ikke sikkert
<b>CO</b>	$< 1500\text{ ppm}$	Sikkert/ikke sikkert

Tabell 4: Akseptkriterier for forskjellige parametere

## 4.2 Sikt

I henhold til standarden SN-INSTA/TS 950:2014 «Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk» er 3 meter sikt (høyde ikke spesifisert) fastsatt som minstekrav for brannseksjonsareal mindre enn 100m<sup>2</sup> [40]. Forsøksboligen er ca. 35m<sup>2</sup>. Selv om dette kravet er satt i forbindelse med rømnings- og redningstider, er det ansett av arbeidsgruppen at dette kravet er overførbart. Det er manglende data for sikt ved utløst sprinkleranlegg ved brann i bolig, og derfor fastsettes ønskelig mål for sikt på minimum 3 meter.

## 4.3 Varme

Det er viktig at beboere i ROP-boliger beskyttes mot store varmpåkjenninger, ettersom de kan være immobile eller trenge hjelp til evakuering. Nedenfor er de fysiske effektene ved eksponering for forskjellige temperaturer gjengitt [41]:

Temperatur (°C)	Fysiologisk respons
<b>125</b>	Vanskeligheter med å puste
<b>140</b>	5 minutters toleranse tid
<b>150</b>	Munnpusting vanskelig, temperaturgrense for rømning
<b>160</b>	Rask, uutholdelig smerte på tørr hud
<b>180</b>	Irreversibel skade innen 30 sekunder
<b>205</b>	Luftveienes toleransetid mindre enn fire minutter med våt hud

Tabell 5: Fysiske effekter ved eksponering av høye temperaturer, gjengitt på norsk [41]

Ved et branntilløp vil de tre varmeoverføringsmekanismene stråling, ledning og strømning gjøre seg gjeldende. Mennesker som oppholder seg i et brannrom vil hovedsakelig utsettes for stråling og strømning. Dersom man oppholder seg langt vekk fra en brann, vil man kun få varmpåkjenning i form av stråling [42].

Ved røykgasstemperaturer lavere enn 150-200°C er varmetransporten fra strømning dominerende sammenliknet med stråling. Dersom røykgassenes temperatur overstiger 400°C vil varmestråling bli den dominerende formen for varmetransport. Dette er skjer som årsak av at varmetransporten fra strømning øker sammen med temperaturstigningen til en røykgass, mens varmestråling øker med røykgassens temperatur i fjerde potens [42].

Å fastsette akseptkriteriet for varme er svært aktuelt for ROP-omsorgsboliger. Selvpåtent branner øker risikoen for at beboeren oppholder seg i samme rom hvor branntilløpet finner

sted. I NS-EN 12259-14 «Faste brannslukkesystemer - Deler til sprinkler- og vannspraysystemer - Del 14:» [43], er følgende krav for sprinkler til boligbruk oppgitt:

- En sensor plassert 75mm under taket: maks 320°C.
- En sensor plassert 1,6 m over gulvet midt i rommet: maks 95°C
- En sensor plassert 1,6 m over gulvet midt i rommet: maks 55°C for ikke mer enn 2 min.

Dermed fastsettes samme krav for akseptkriteriet på at gass-temperaturer ikke skal overstige 320°C 75mm under taket og 95°C 1,6m over gulvet, samt maks 55°C i 2 min ved 1,6m over gulvet, for å sammenligne krav for sprinkler til boligbruk og IG-541 slokkegass.

#### 4.4 CO<sub>2</sub>

SN-INSTA/TS 950:2014 beskriver at maksimal grense for CO<sub>2</sub>-konsentrasjon er 5% for å unngå forgiftning [40]. Automatisk slokkeanlegg med IG-541 prosjekteres for å skape et miljø med CO<sub>2</sub>-nivå på omtrent 3,5% etter utløsning. Allikevel skaper forbrenningen fra en brann CO<sub>2</sub>, slik at konsentrasjonen av gassen kan øke. Forskning utgitt av SINTEF viser at CO<sub>2</sub> vanligvis ikke er særlig giftig ved konsentrasjoner som oppstår ved brann, før selve brannrommet når overtenning [44]. Akseptkriteriet for CO<sub>2</sub>-konsentrasjon fastsettes til å være maksimalt 5%.

#### 4.5 O<sub>2</sub> og holdetid

Ved fastsettelse av akseptkriteriet for O<sub>2</sub>-nivå, må det hensyntas flere faktorer. Holdetid for gassbaserte slokkesystemer er viktig i for å unngå re-antennning. Dersom utløst slokkegass reduserer O<sub>2</sub>-nivået og slokker en brann, kan glør føre til at brannen re-antenner dersom oksygenivået stiger for raskt. Holdetiden for oksygenivået starter når konsentrasjonen når den minste designkonsentrasjonen som tilsvarer 12,3%. Ved slutten av holdetiden skal slokkemiddelkonsentrasjonen ikke være mindre enn 85% av designkonsentrasjonen, som tilsvarer 13,5%. I henhold til standarden NS-EN 15004-1:2019 skal det være en 10 minutters holdetid for å opprettholde tilstrekkelig tidsrom for å tillatte effektive nødtiltak [1].

For å hensynta personsikkerhet beskriver SN-INSTA/TS 950:2014 at O<sub>2</sub> nivå ikke skal være mindre enn 15% [40]. Samtidig må konsentrasjonen av O<sub>2</sub> senkes til under 15% for å oppnå slokking. IMT-beregningene for testleiligheten beskriver at designkonsentrasjonen for slokkeanlegget er 12,3% oksygen for den gjeldende fareklassen. Dette fører til at O<sub>2</sub>-nivået vil

bli lavere enn beskrevet i SN-INSTA/TS 950:2014. Som forklart i 2.4.2.3 Helsepåvirkning peker forskning på at IG-541 er personsikkert i opptil 30 minutter ved oksygenkonsentrasjoner som ikke er lavere enn 10%, med CO<sub>2</sub>-kompensasjon. Akseptkriteriet for oksygenivået ved bruk av IG-541 fastsettes dermed til å være 10%.

Oppsummert fastsettes akseptkriteriet for holdetid til mellom 10 og 13,5% oksygen i 10 minutter. Som følge av begrunnelsen ovenfor er dette ikke i strid med personsikkerheten, så lenge O<sub>2</sub>-nivå holdes over 10%.

#### 4.6 CO forgiftning:

Karbonmonoksid (CO) er en gjennomsiktig luktfri gass som dannes ved en ufullstendig forbrenning. Ufullstendig forbrenning skjer når det er mangel på oksygen i en forbrenningsreaksjon. Ved innånding av CO binder gassen seg til hemoglobinet og danner karboksyhemoglobin (COHb). Dette metter hemoglobinet og svekker dens evne til å ta opp oksygen i blodet [45]. IG-541 reduserer oksygenivået for å slokke en brann, derfor vil CO-produksjonen øke i tidsperioden slokkegassen blir utløst og inntil brannen blir slokket.

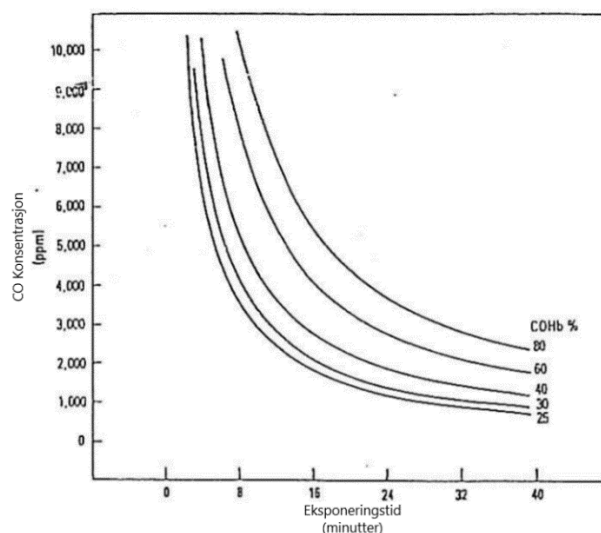
SN-INSTA/TS 950:2014 beskriver at CO-nivå under rømning maksimalt kan være 2000 ppm (0,2%) [40]. Dette er et akseptkriterium satt for mennesker som oppholder seg i kortere tidsrom i CO-fylte omgivelser under rømning. I ROP-boliger er det fare for at beboerne er immobile og blir igjen i CO-fylte omgivelser over en lengre tidsperiode. Denne forskjellen er viktig å hensynta ved fastsettelse av CO-akseptkriteriet.

Det er flere kilder som viser ulik statistikk om COHb-nivåer hos både røykere og ikke-røykere. Helsebiblioteket.no og analyseoversikten.no slår fast at ikke-røykere normalt har en COHb-verdi under 3%, mens røykere har i gjennomsnitt en COHb-verdi på 6 til 10% avhengig av grad av røyking [46], [47]. Folkehelseinstituttet sier derimot at ikke røykere har en COHb-verdi på 0,5 til 1,5%, mens røykere vanligvis har COHb-verdier på rundt 34% [48]. Tabell 6 nedenfor viser COHb-verdier fremstilt av Military Medicine International Journal of AMSUS for røykere med ulike vaner:

Referanse	Pasient (emne) alder	Kjønn	Hgb (gm/dL)	Karbonsyl-hemoglobin	%	Røyke metode	Historie
Postgrad Med J, 1973	31	Dame	Ikke tilgjengelig	Før Etter	7.0 8.6	Sigarett	30 sigarett/dag, testet etter 1 sig 1–2 min
	45	Mann	Ikke tilgjengelig	Før Etter	7.6 8.2	Sigarett	60 sigarett/dag tester etter 1 sig 1–2 min
	41	Dame	Ikke tilgjengelig	Før Etter	4.2 6.8	Sigarett	17 sigarett/dag tester etter 1 sig 1–2 min
	51	Mann	Ikke tilgjengelig	Før Etter	6.2 6.4	Pipe	21,3 gram tobakk/dag testet etter 1 pipefull 1-2 min
	40	Mann	Ikke tilgjengelig	Før Etter	2.9 5.1	Sigar	1 sigar per uke testet etter 1 sigar 1–2 min
Am J Med Sci, 2010	48	Dame	Ikke tilgjengelig	Innledende 1 uke etter	21.8 24.8	Sigarett Sigarett	Første presentasjon, HA, og svimmelhet 40 sigarett/dag, 1 uke senere, HA, og svimmelhet fortsatt røyker
Ugeskr Laeger, 2015	54	Dame	forhøyet		35.0	Sigar	Hyponatremi og forhøyet hemoglobin
I J Med Sci, 1969	47	Mann	19.2 (innledende)		13.0	Sigar	Svimlende, fin skjelving, og HA
	46	Mann	13.9 (etter 2 flebotomier)		13.0	Sigar	Polycytemi (hematokrit 53%), HA, og svimmelhet
J Med Toxicol, 2019	58	Mann	17.3-18.8		38.6	Sigar	Hjemmelagd sigar primært med avis, nyoppstått polycytemi

Tabell 6: COHb prosent verdier for ulike røykevaner, gjengitt på norsk [49]

Ut fra statistikken presentert fra ulike kilder, kan man fastslå at røykere har høyere COHb-verdier enn ikke-røykere. Det er vanskelig å fastsette hvor høy COHb-verdi røykere har, ettersom dette varierer ut ifra vaner som hvor ofte de røyker og hva de røyker. For å vite hvilke konsekvenser økt COHb-verdier fører til, ble CBRNE-senteret ved Oslo universitetssykehus kontaktet. Ifølge Espen Rostrup Nakstad vil en person med inntil 10% mett hemoglobin med CO fra sigarett røyking, tåle mindre brannrøyk enn en ikke-røyker. Nakstad sier at halveringstiden i romluft for COHb er rundt 5 timer, men dette varierer individuelt og er avhengig av ventilasjonssystemet i boligen, og om personen i mellomtiden har tatt seg en røyk eller ikke. Dette er viktig å ta med i betraktning ved fastsettelse av akseptkriterier, da det er rimelig å anta at en stor del av brukerne av ROP-boliger er røykere.



Figur 14: Prosent COHb som funksjon av CO konsentrasjon i omgivelsene, gjengitt på norsk [41].

Figur 14 fremstiller COHb-nivået etter bestemte tider for forskjellige CO konsentrasjoner i omgivelsene. Denne grafen brukes som et hjelpemiddel i fastsettelse av akseptkriteriet for CO-konsentrasjon for brannforsøkene som skal gjennomføres.

Konsentrasjon av CO (ppm)	Fysiologiske effekter
1500	Hodepine etter 15 minutter, kollaps etter 30 minutter, død etter 1 time.
2000	Hodepine etter 10 minutter, kollaps etter 20 minutter, død etter 45 minutter.
3000	Maksimum «trygg» eksponering i 5 minutter, fare for kollaps innen 10 minutter.
6000	Hodepine og svimmelhet innen 1-2 minutter, fare for død innen 10-15 minutter.
12800	Umiddelbar effekt, bevisstløs etter 2-3 pust, fare for død innen 1-3 minutter.

Tabell 7: Fysiologiske effekter ved eksponering for forskjellig omgivelser av CO konsentrasjon, gjengitt på norsk [41].

Ut fra statistikk fra en rekke kilder kan man fastslå at akseptkriteriet beskrevet i SN-INSTA/TS 950:2014 på 2000 ppm (0,2%) er konservativt for rømning. Allikevel fastsettes et akseptkriterium på 1500 ppm (0,15%) for ROP-boligene, for å hensynta økte grunnverdier av COHb for røykere. Ved konsentrasjon på et slikt nivå vil en gjennomsnittsperson oppleve hodepine, kvalme, svimmelhet innen 15 minutter. Bevisstløshet kan forekomme innen 30 minutter, mens død forventes etter 60 minutter [41]. Tidsperioden før død forekommer gir god sikkerhetsmargin for brannvesenets utrykningstid, som er beregnet til 10 minutter, og deres redningsarbeid av immobil beboer.

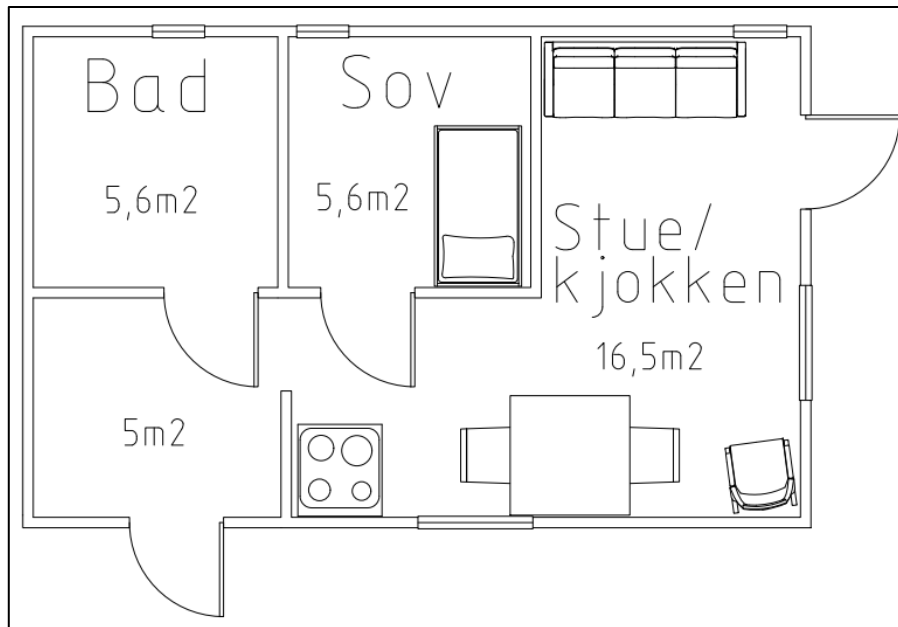
## 5. Testoppsett

### 5.1 Forsøksboligen

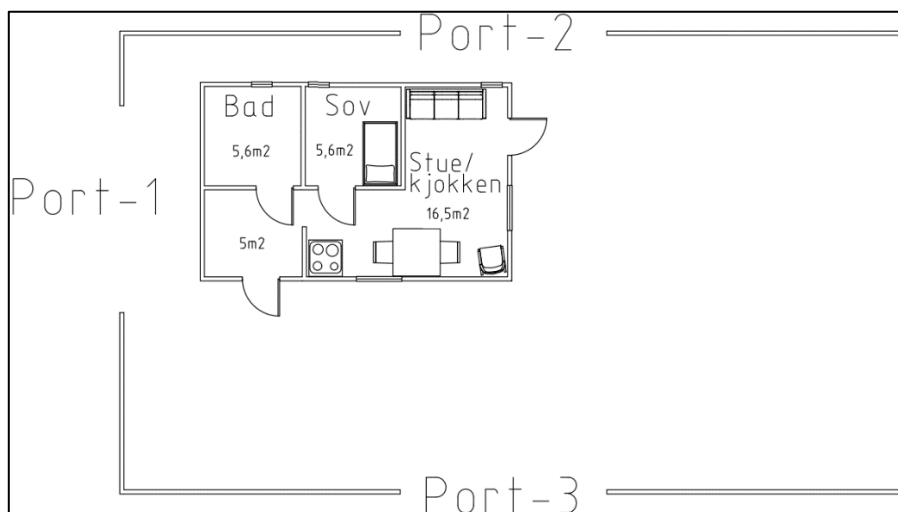
For prosjektet ble det bygget en fullskala bolig i forsøkshallen 'Hall of Flame' på ResQ i Haugesund, hvor forsøkene ble gjennomført. Testboligen ble bygget etter mål fra ROP-boliger i Sandnes kommune. Boligens bruttoareal er på ca. 35 m<sup>2</sup>, med et volum på ca. 80,8 m<sup>3</sup>. Den består av en inngang, badrom, soverom og en åpen løsning som forener stue og kjøkken. Planløsningen til forsøksboligen avviker noe fra de tre boligene som skal bygges på Karmøy. Boligens reisverk er bygget av furu bjelkelag og kledningen er av kryssfiner. Leiligheten er delvis møblert med seng, sofa, komfyr, lamper, bord og stoler. Se Figur 16 for planløsning til forsøks-bolig. Boligen er utstyrt med ventilasjonsanlegg hvor avtrekk er plassert i badrom, soverom og over komfyr. Dette vil være påskrudd til enhver tid under forsøk, inntil brannalarm utløses. Avtrekksvifte på bade- og soverom trekker ut 100 m<sup>3</sup>/t. Viften over komfyren trekker ut 300 m<sup>3</sup>/t. Tilluftsvifte for ventilasjonsanlegget er plassert i stuen og leverer 500 m<sup>3</sup>/t friskluft. Dette er et ventilasjonsanlegg langt over normalen som skifter ut luften i hele boligens volum over seks ganger i timen. Til sammenlikning utgjør kravet i TEK17 for ventilasjonsanlegg i boligbygg rundt 0,5 utskiftninger i timen [19]. Ventilasjonsanlegget ble montert som følge av at boligene på Karmøy vil ha tilsvarende anlegg.



Figur 15: Utvendig bilde av forsøksboligen.



Figur 16: Planløsning for forsøks-bolig.



Figur 17: Oversiktsbilde av forsøks-boligen plassert inne i Hall of Flame

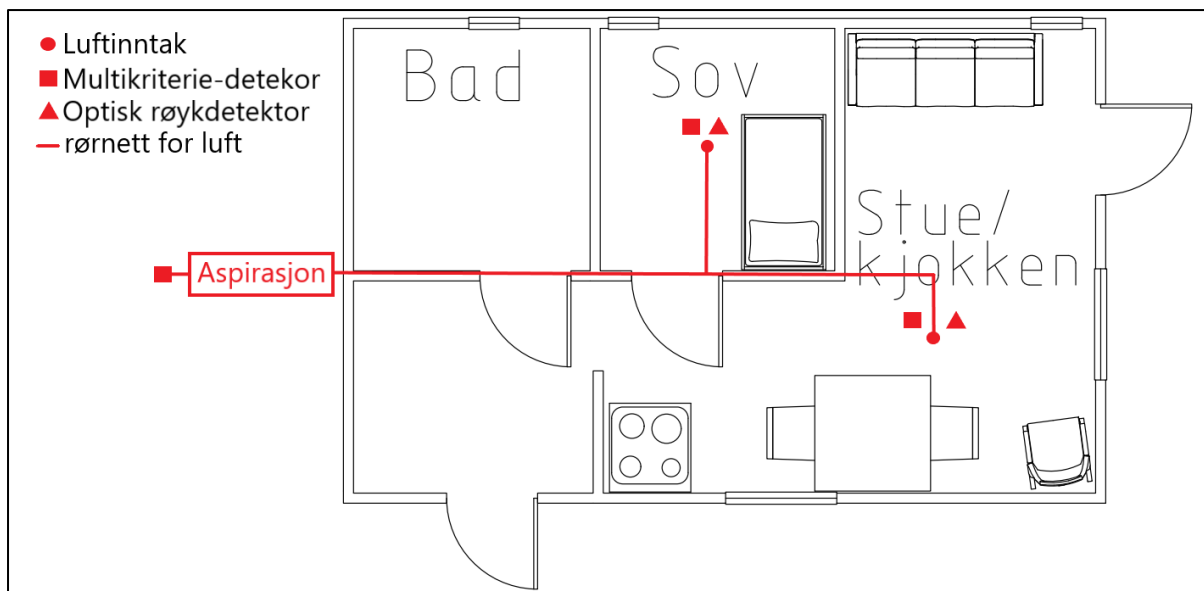
### 5.1.1 Slokkeanlegg

Slokkeanlegget med IG-541 er prosjektert etter NS-EN 15004-1:2019. IMT-beregningene gir grunnlag for en del av anleggets design, og finnes i Vedlegg C – IMT-beregning for testleilighet. Det er plassert en dyse i hvert rom, dimensjonert slik at riktig mengde gass distribueres i hvert av rommene selv om innvendige dører er lukket. To flasker med IG-541 vil bli utløst ved deteksjon av brann, beregnet for at oksygenivået skal synke til 11,7%. Gassen vil da erstatte litt under halvparten av luften som eksisterer i leiligheten. Utløsningstiden er 120 sekunder.



### 5.1.2 Deteksjon

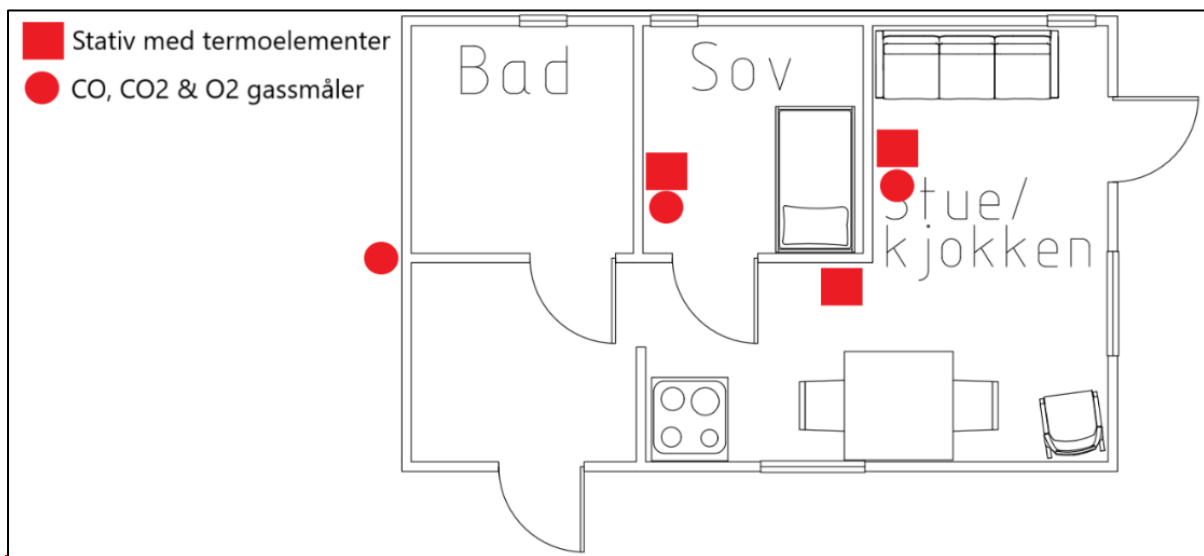
I testboligen som brukes i dette prosjektet installeres multikriterie-punktdetektorer på kjøkken/stue og soverom. Disse slår ut dersom den detekter røykpartikler, varme eller CO. Multikriteriedetektor motvirker uønskede utløsninger, da slokkegassen ikke blir utløst før det er gjort utslag på to forskjellige kriterier. I tillegg monteres to vanlige røykdetektorer. Alle disse detektorene er med på å gi data for å fastsette utløsningskriterier og sensitivitet. Fordi installasjoner i ROP-boliger skal være robuste mot hærverk, benyttes også aspirasjonssystem i testleiligheten. Dette er systemet som skal brukes i boligene i Karmøy kommune, med hensikt å motvirke hærverk. Aspirasjonssystemet suger luft fra punkter i taket på stuen og kjøkkenet, og fører luften videre til en optisk detektor og en multikriteriedetektor utenfor boligens bruksareal (Se figur 18 nedenfor). Det er disse detektorene som skal styre slokkeanleggets utløsning når konsentrasjon av enten røyk, CO eller varme når et bestemt nivå. Alarmene og tidspunktet brann blir detektert registreres på brannalarmsentralen.



Figur 18: Oversiktsbilde av deteksjonssystemet til forsøksboligen.

### 5.1.3 Måleutstyr

Forsøks-boligen er utstyrt med forskjellige typer måleutstyr med hensikt å loggføre endringer i omgivelsene gjennom forsøkene. For å måle temperaturendringer, er det plassert termoelementer i taket og på et stativ ved ulike høyder i soverom, stue og kjøkken. Tabell 8 og Figur 19 for høyder og plassering. I tillegg er det plassert ekstra termoelementer med spesifikk plassering for hvert forsøk. Disse måler temperaturer som er interessante for scenariet som gjennomføres. For å lese av nøyaktige gass-konsentrasjoner i rommet er det plassert gassmålere av typen Dräger X-AM 8000 i hodehøyde (1,85 m) på stue og soverom. Disse registrerer nivå av CO, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>. Det er også plassert en lik type gassmåler ved detektoren i aspirasjonsanlegget, på utsiden av leiligheten. For å måle sikt er leiligheten utstyrt med kamera, som også vil dokumentere hele brannforløpet. Se Figur 20 for kameraplassering med hensikt å måle sikt.



Figur 19: Oversiktsbilde for plasseringen av måleutstyr

Måleutstyr	Høyde	Kommentar
Stativ med termoelementer	1,10m 1,35m 1,60m 1,85m 2,10m	Plassert på stue, kjøkken og soverom (se Figur 19)
Termoelement tak	2,40m	Plassert i tilknytning til multikriteredetektorer og dyser.
Termoelement ekstra	Varierende	2-3stk som plasseres spesifikt til hvert scenario. Eksempel kan være i tilknytning til seng ved soveromsbrann.
Gassmåler	1,80m	Hodehøyde på soverom og stue. En måler plassert i aspirasjonen.

Tabell 8: Oversikt for plassering og høyde av måleutstyr



Figur 20: Kameraplassering for siktmåling (3 meter til første figur og 5,4 meter til andre figur)



Figur 21: Stativ med termoelementer: (1) kjøkken og (2) stue



Figur 22: Målingsutstyr fra venstre: action kamera, multigassdetektor og datalogger.

#### 5.1.4 Utstysliste

Oversikt over utstyr som ble benyttet for å gjennomføre forsøkene:

- PC med dataloggerprogram for brannlab HSH
- KEYSIGHT 34972A datalogger
- ZETTLER Brannalarmsentral PRO215D
- Holta & Håland xtralis VESDA aspirasjonssystem
- 22 stk. K-type termoelement 1mm
- 3 stk. Dräger X-am 8000 Multigassdetektor
- 3 stk. TRIACLE action kamera 1080P SI
- 2 stk. No-Flame Optisk Røykvarsler
- 3 stk. Tyco 830PC Minerva MX Røyk, Varme & Karbonmonoksid Multi-Sensor detektor
- Brennbart materiale – Presenteres i kapittel 3.4 Metode for forsøk
- Metallkar
- Inergen-anlegg – Presenteres i kapittel 5.1.1 Slokkeanlegg
- Ventilasjonsanlegg – Presenteres i kapittel 5.1 Forsøksbolig

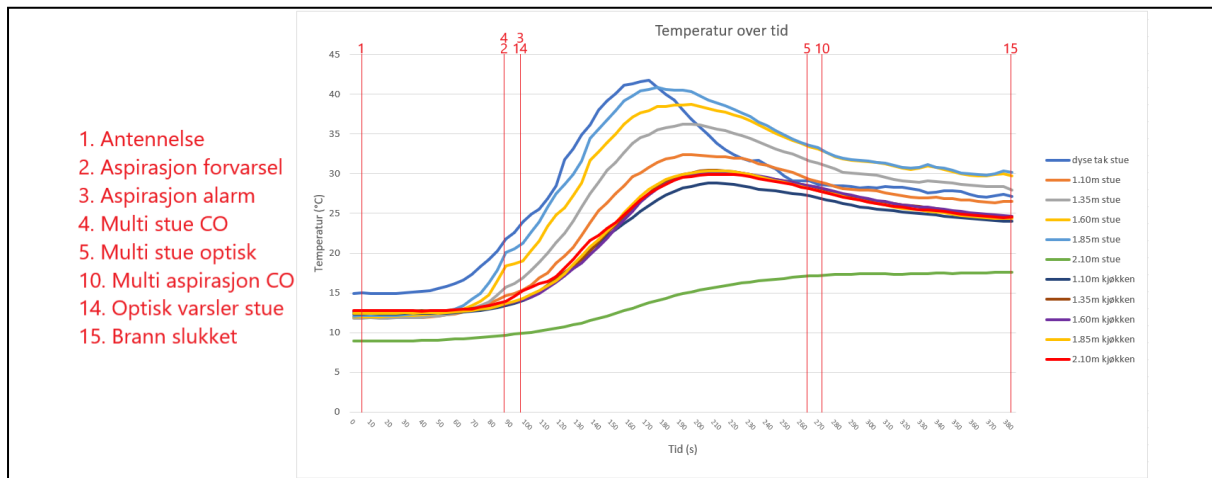
## 6. Data fra første forsøksserie

Dette kapitlet presenterer utvalgt data fra de 28 gjennomførte testene fra første forsøksserie. Resultatene har gitt grunnlag for kriteriene som skal aktivere deteksjonssystemet og utløse slokkegassen. Dataen som er presenteres legger grunnlag for kapittel 7. Diskusjon første forsøksserie. Fullstendig oversikt over de utførte forsøkene ligger i vedlegg E-1 og vedlegg E-2. Grafene i dette kapitlet illustrerer hvordan parametere temperatur og CO-nivå endrer seg over tid, samt når faste hendelser vist i tabell 9 inntreffer.

<b>Tall</b>	<b>Beskrivelse</b>
1	Antennelse av materialer
2	Forvarsel til aspirasjon aktiveres
3	Alarm til aspirasjon aktiveres
4	Multikriteriedetektor alarm stue (CO)
5	Multikriteriedetektor alarm stue (optisk)
6	Multikriteriedetektor alarm stue (varme)
7	Multikriteriedetektor alarm soverom (CO)
8	Multikriteriedetektor alarm soverom (optisk)
9	Multikriteriedetektor alarm soverom (varme)
10	Multikriteriedetektor alarm etter aspirasjon (CO)
11	Multikriteriedetektor alarm etter aspirasjon (optisk)
12	Multikriteriedetektor alarm etter aspirasjon (varme)
13	Optisk røykvarsler alarm soverom
14	Optisk røykvarsler alarm stue
15	Automatisk utløsning av Inergen
16	Brannen slukner/blir slukket

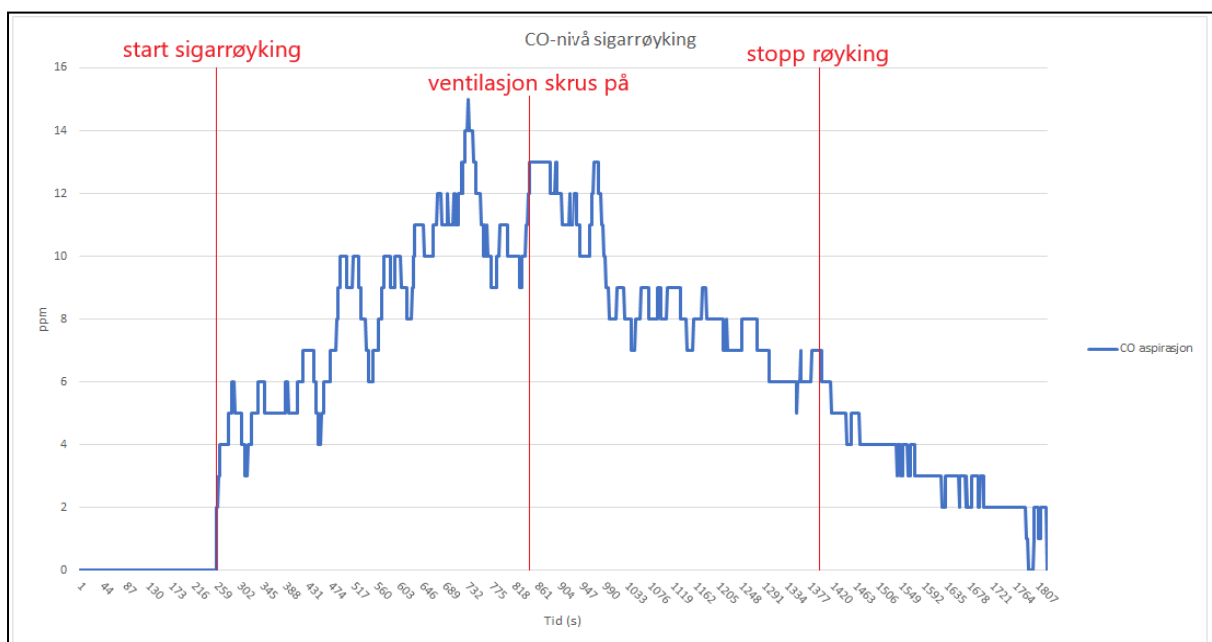
Tabell 9: Beskrivelse av hendelser og tilhørende tall

Figur 23 viser temperatur over tid for forsøk med brann i stue uten slokkegass. Ventilasjonssystemet var påskrudd under hele forsøket. Høyeste temperatur i taket viser 42°C etter ca. 3 min da brannen var på sitt største. Termoelement ved 2,10m i stue (grønn) ser ut til å være defekt.



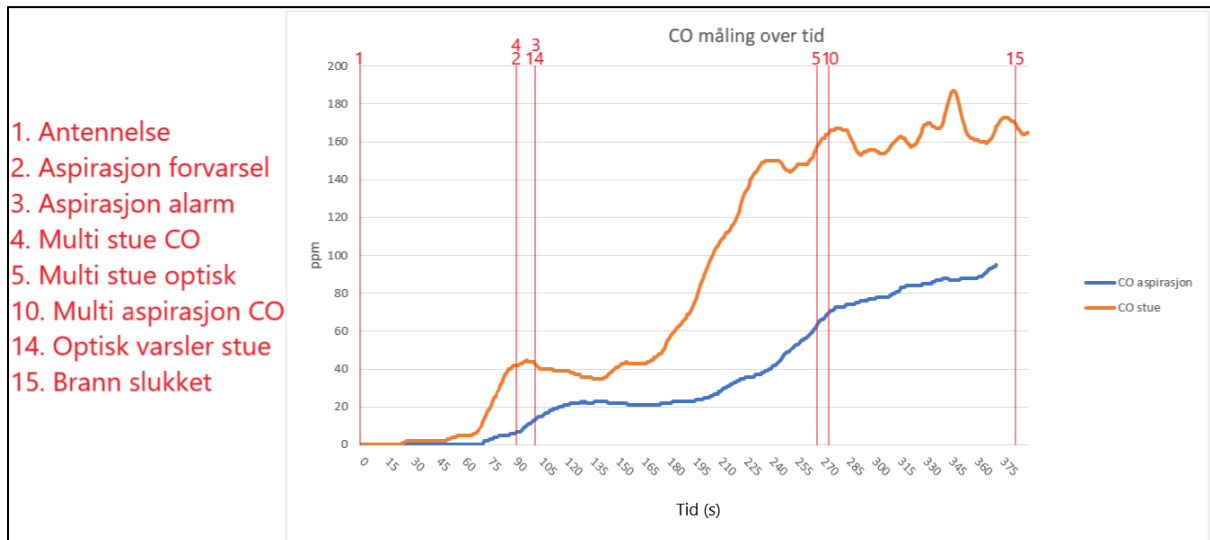
Figur 23: Temperaturutvikling over tid for brann i stue uten slokkegass.

Figur 24 er en grafisk fremstilling av CO-nivå på soverom målt ved 1,85m høyde. Forsøket ble gjennomført med en testperson som røykte sigar på soverom med dør og vindu lukket. Høyeste CO-verdi er på 15ppm etter ca. 12 minutter. Ventilasjonsanlegget skrus på etter 14 minutter.



Figur 24: CO-nivå over tid for sigarrøyking på soverom.

Figur 25 viser CO-nivå over tid ved brann i stue uten slokkegass. Fordi aspirasjonssystemet har to innsug, viser måleren rundt halvparten av konsentrasjonen sammenliknet med gassmåleren i stuen. Ventilasjonssystemet var påskrudd under hele forsøket.



Figur 25: CO-nivå for multikriteriedetektor i stue (oransje) og aspirasjon (blå).

## 7. Diskusjon første forsøksserie

For å fastsette rammene for videre forsøk vil løsningene knyttet til deteksjon diskuteres på dette stadiet av rapporten. Kapittelet tar for seg og argumenterer for den valgte løsningen, i tillegg til å fremlegge potensielle forbedringer.

### 7.1 Deteksjon i testleiligheten

Fordi denne oppgaven skal teste alle faser fra brannstart til slokking ved at anlegget skal løses ut automatisk, dreide første forsøksserie seg om å identifisere ideelle kriterier for deteksjon og utløsning. En stor utfordring for deteksjonssystem i ROP-boliger er risiko knyttet til hærverk og menneskelig påvirkning av komponenter. Dersom en takmontert punktdetektor demonteres, vil slokkesystemet miste sin funksjonalitet. Det ble derfor besluttet å bruke aspirasjonssystemet for økt robusthet. Aspirasjon har i seg selv flere fordeler, men vanskeliggjør også måling av visse kriterier. Dersom man ønsker å overvåke temperatur i et rom for å avdekke et mulig brannforløp, vil varmetapet ved transporten gjennom rørsystemet være betydelig innen luften når deteksjonssystemet. Derfor er det i praksis kun mulig å måle bestemte gasskonsentrasjoner og partikler slik anlegget er utformet. Ved å studere Figur 23 ser man at varmen i stuen stiger under brannforløpet, likevel ble multikriteriedetektor tilknyttet aspirasjonssystemet aldri utløst på varme under noe forsøk.

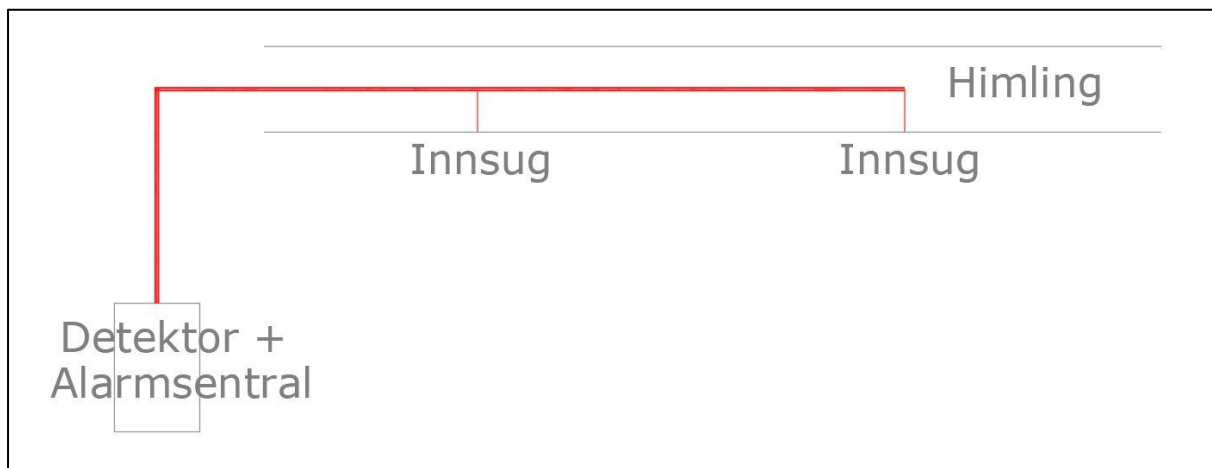
For at slokkesystemet skal være lite sårbart mot feilutløsninger, må minst to deteksjonskriterier være oppfylt for at slokkeanlegget skal aktiveres. Etter 28 forsøk uten gass ble det bestemt å programmere slokkeanlegget til å aktiveres når detektor i aspirasjonssystemet målte et CO-nivå over 30ppm, og optisk røykdeteksjon på 2,6% lysdemping per meter. Området som kan justeres for optisk deteksjon er mellom 0,001 og 3% hvor 2,6% tilsvarer normal alarmering for en ordinær røykvarsler. Dette ble ansett som den beste løsningen for å ha en lav sannsynlighet for feilutløsning, samtidig som slokkeanlegget skulle bli aktivert tidlig nok i brannforløpet. Ventilasjonssystemet sørger for seks utskiftninger av luften i timen. Dette er langt over kapasiteten til normale anlegg i boliger, som leverer 0,5 utskiftninger i timen. Den store luftgjennomstrømningen medfører at sannsynligheten anses som lav for at CO-nivået når 30ppm uten et reelt brannforløp, noe som ble verifisert ved forsøk med sigarrøyking innendørs på soverom (Se Figur 24). Her ble CO-nivå registrert over tid både med og uten ventilasjon på. Det er tilknyttet en viss risiko for feilutløsning fordi



ventilasjonssystemet stanses når en av alarmkriteriene nås. Dersom man eksempelvis er flere personer som røyker inne i samme rom slik at slik at optisk røykdeteksjon registreres, kan stengt ventilasjonsanlegg bidra til at CO-nivå når 30ppm og man dermed får utløsning av gass.

## 7.2 Forbedringspotensialer for deteksjon

For at et deteksjonssystem skal ha tilstrekkelig pålitelighet, må det fungere etter tiltenkt hensikt. Med en tilsvarende løsning som er benyttet under forsøkene vil antall innsugspunkt påvirke følsomheten for måleutstyret tilknyttet aspirasjonssystemet. Forsøksleiligheten som ble benyttet i dette prosjektet hadde to innsug; et i soverom og et i stue. Dette vil si at dersom CO-nivå i stue er 30ppm og CO-nivå på soverom er 0, vil multikriteriedektoren i enden av aspirasjonssystemet måle rundt 15ppm. Dette kan man visuelt se i Figur 26 som viser et vesentlig høyere CO-nivå for målingene i stuen sammenliknet med aspirasjonen.



Figur 26: Grafisk fremstilling av aspirasjonsanlegg i testleiligheten. Røde streker viser rørene i aspirasjonssystemet.

Figur 26 viser en skjematisk fremstilling av hvordan aspirasjonssystemet er bygget opp. Med utgangspunkt i den tilgjengelige dataen og de valgte alarmkriteriene, representerer deteksjonsløsningen et godt alternativ for bruk i ROP-boliger. Likevel er det noen innlysende svakheter. Med den nåværende løsningen vil sensitiviteten minke for hver innsugshull som blir tilført anlegget. Det mest gunstige vil vært å ha en frittstående detektor i hvert rom. Disse måtte i så fall vært skjult og beskyttet for å avverge hærverk. Erfaringer fra Karmøy kommune viser at tilgang til boligen for å drive kontroll og vedlikehold kan by på utfordringer, fordi brukeren kan nekte teknisk personell adgang. En forutsetning for deteksjonssystemet var

derfor at ettersyn skal kunne utføres fra et teknisk rom som er separert fra boligen. En annen svakhet med aspirasjonssystemets utforming er at varme ikke kan brukes som alarmkriterium. En løsning på dette kunne vært å installere skjulte termoelementer som overvåker temperatur i tilknytning til innsug. Dette ville gitt systemet bedre funksjonalitet og lavere sannsynlighet for feilutløsning.

Dersom varme er et av kriteriene for å løse ut gass vil man også sikre seg mot sabotasje. Et eksempel kan være at beboer holder en lighter under innsug til aspirasjonen. Da vil alarm gå som følge av deteksjon av varme, men gass vil ikke utløses med mindre CO-nivå når 30ppm. Ulempen med denne løsningen vil være økte kostnader ved installasjon, samtidig som systemet blir mer komplekst.

## 8. Data fra andre forsøksserie

Kapittelet presenterer selektert data fra andre forsøksserie. Dataen som er presenteres legger grunnlag for kapittel 9. Diskusjon av andre forsøksserie. En oversikt over forsøkene og slokkeeffekt er oppsummert i Tabell 10. Værdata finnes i Vedlegg D - Værforhold under forsøkene.

Test	Dører/vinduer	Ventilasjon	Porter i Hall of Flame	Slokkeeffekt
A1	Dører inne i leiligheten lukket, begge inngangsdører åpne.	På ved start, varme på, skrus av ved første alarm	Alle 3 porter er åpen.	Brann ikke slokket
A2	Dører inne i leiligheten lukket, en inngangsdør åpen.	På ved start, varme på, skrus av ved første alarm	Alle 3 porter er åpen.	Brann slokket
A3	Alle dører og vinduer lukket.	På ved start, varme på, skrus av ved første alarm	Alle 3 porter er åpen.	Brann slokket
B1	Alle dører lukket, vindu soverom åpent.	På ved start, varme på, skrus av ved første alarm	Alle 3 porter er åpen.	Brann slokket
B2	Alle dører og vinduer lukket.	På ved start, varme på, skrus av ved første alarm	Alle 3 porter er åpen.	Brann slokket

Tabell 10: Oppsummering av forsøkene

## 8.1 Grafisk fremstilling av andre forsøksserie

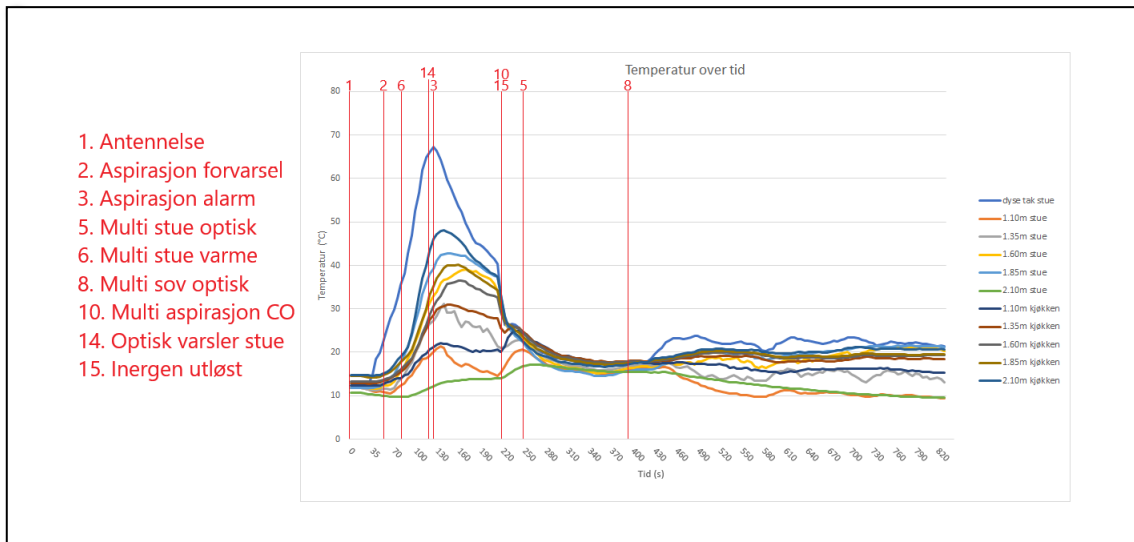
Forsøkene ble gjennomført med ventilasjon på, frem til første detektor gikk i alarm. Ventilasjonen ble manuelt avskrudd for å simulere at ventilasjonsanlegget er forriglet mot brannalarmanlegget. Da både optisk alarm i aspirasjonsenheten og CO-kriteriet i multikriteriedetektor etter aspirasjonen ble aktivert, utløste sløkkegassen automatisk uten forsinkelse. Grafene illustrerer hvordan relevante parametere som temperatur, CO-nivå og O<sub>2</sub>-nivå endrer seg over tid, samt når faste hendelser, vist i Tabell 11, inntreffer.

Tall	Beskrivelse
1	Antennelse av materialer
2	Forvarsel til aspirasjon aktiveres
3	Alarm til aspirasjon aktiveres
4	Multikriteriedetektor alarm stue (CO)
5	Multikriteriedetektor alarm stue (optisk)
6	Multikriteriedetektor alarm stue (varme)
7	Multikriteriedetektor alarm soverom (CO)
8	Multikriteriedetektor alarm soverom (optisk)
9	Multikriteriedetektor alarm soverom (varme)
10	Multikriteriedetektor alarm etter aspirasjon (CO)
11	Multikriteriedetektor alarm etter aspirasjon (optisk)
12	Multikriteriedetektor alarm etter aspirasjon (varme)
13	Optisk røykvarsler alarm soverom
14	Optisk røykvarsler alarm stue
15	Automatisk utløsning av Inergen
16	Brannen slukner/blir slukket

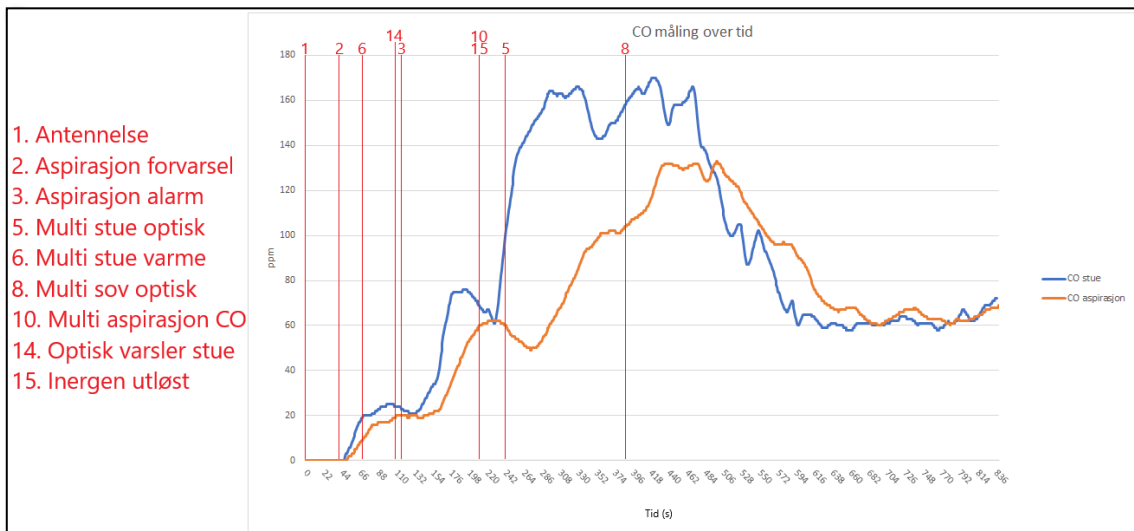
Tabell 11: Beskrivelse av hendelser og tilhørende tall

8.1.1 Scenario A (stue)

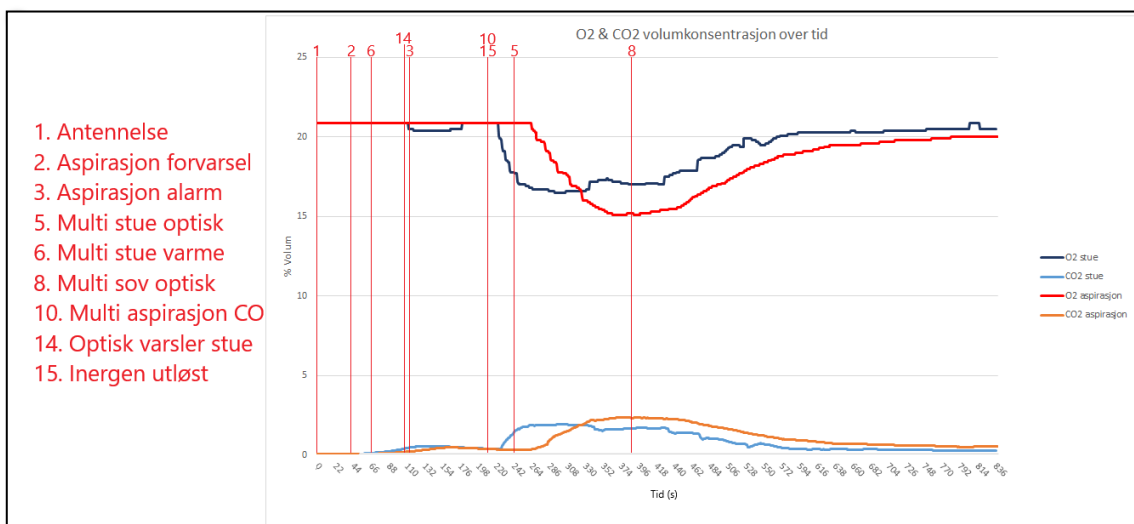
Forsøk A1 (Begge dører åpne)



Figur 27: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk A1



Figur 28: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk A1



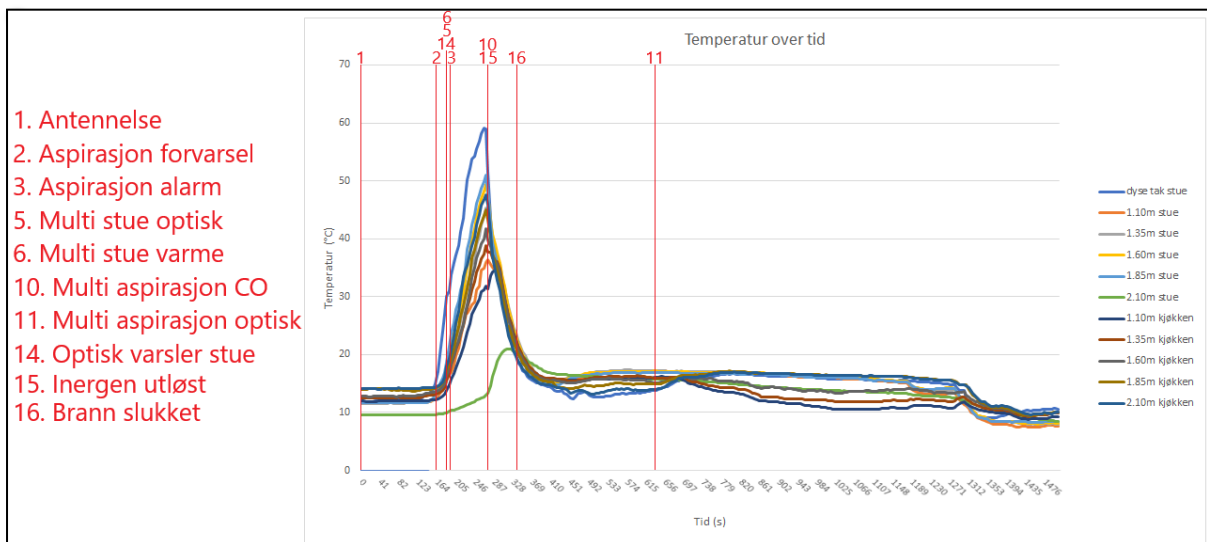
Figur 29: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk A1



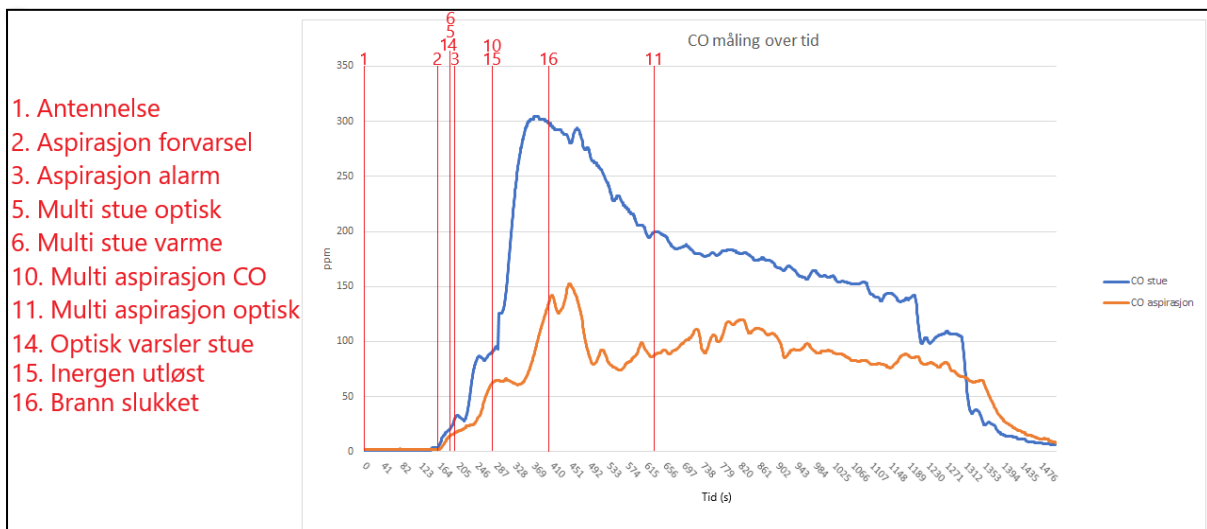
Figur 30: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk A1

Parametere	Akseptkriterier	Status
Sikt	$\geq 3\text{m}$	Sikkert
Varme tak	$\leq 320^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\leq 95^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\geq 55^{\circ}\text{C}$ maks 2 min	Godkjent
CO <sub>2</sub>	$\leq 5\%$	Sikkert
O <sub>2</sub>	$\geq 10\%$	Sikkert
O <sub>2</sub> holdetid	10 minutter med 10-13,5%	Ikke sikkert
CO	$< 1500\text{ppm}$	Sikkert
Brann	slokket	Ikke godkjent
<b>Kommentar:</b> Anlegget klarte ikke å slokke brannen når begge dørene var åpne og skapte gjennomtrekk i leiligheten. 16,5% var laveste registrerte oksygenivå i brannrommet. Dette er 4,2 % høyere enn designkonsentrasjonen.		

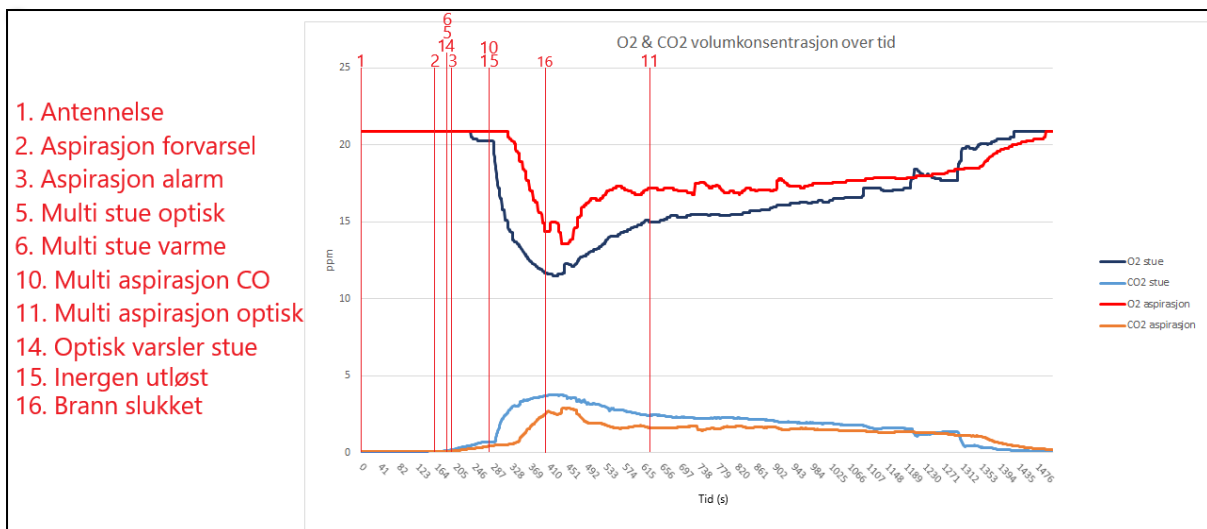
Tabell 12: Oversikt for status til forsøk A1 for de diverse parameternes akseptkriteriet



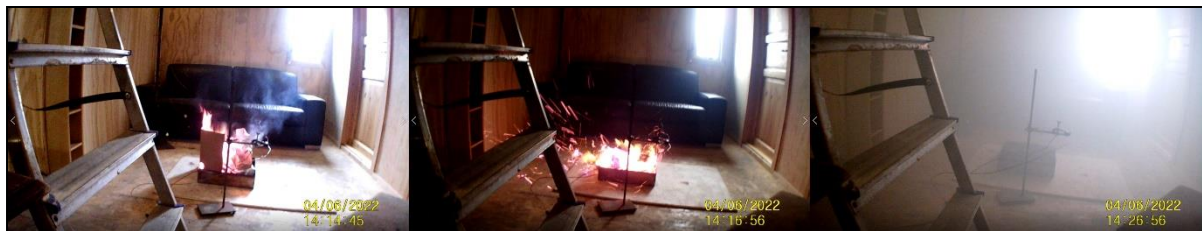
Figur 31: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk A2



Figur 32: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk A2



Figur 33: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk A2

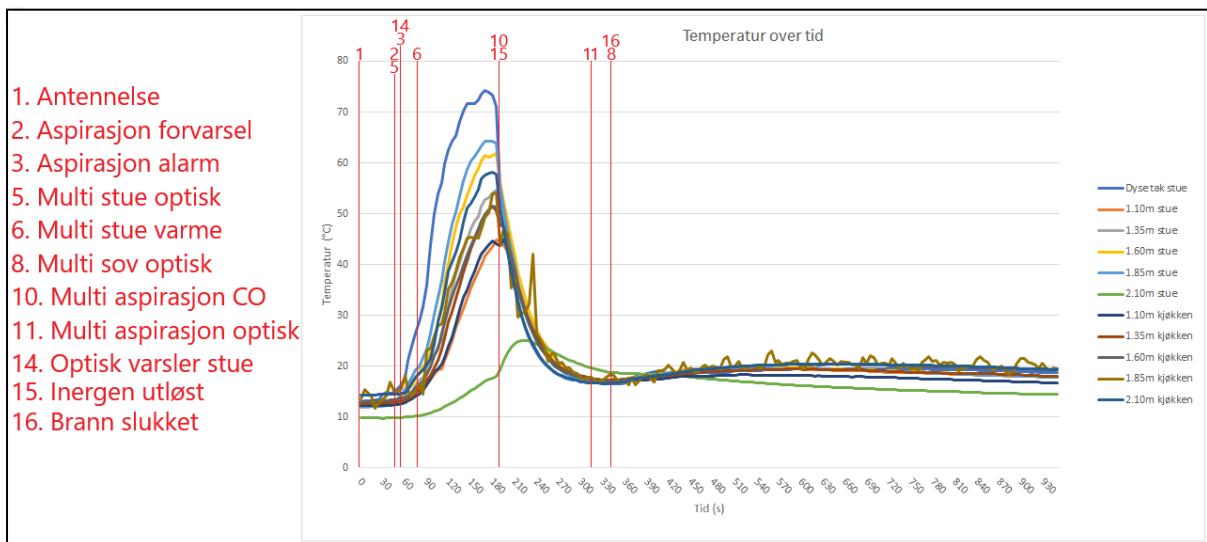


Figur 34: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk A2

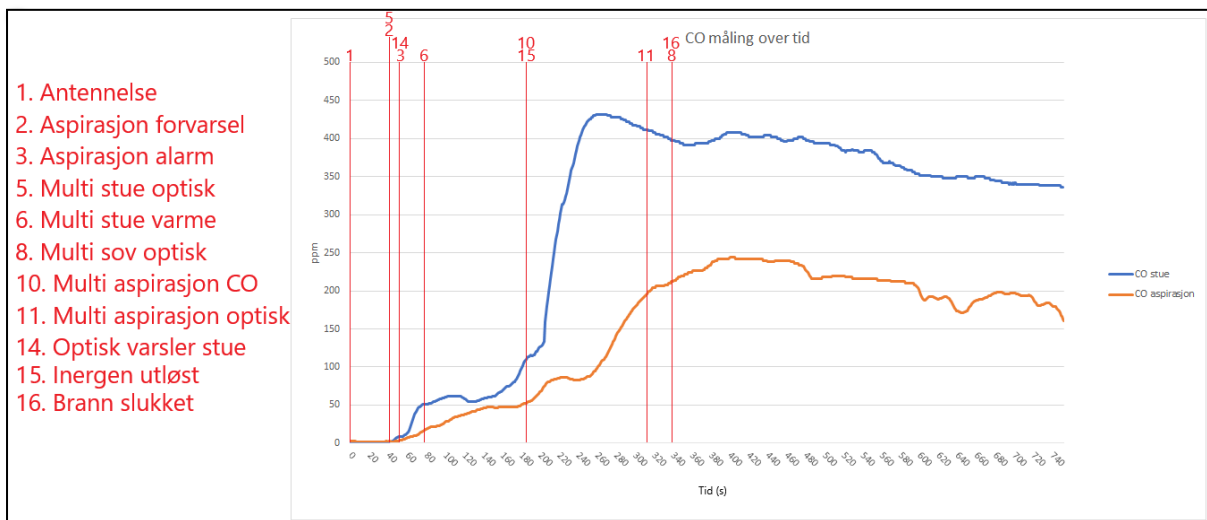
Parametere	Akseptkriterier	Status
Sikt	$\geq 3\text{m}$	Sikkert
Varme tak	$\leq 320^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\leq 95^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\geq 55^{\circ}\text{C}$ maks 2 min	Godkjent
CO <sub>2</sub>	$\leq 5\%$	Sikkert
O <sub>2</sub>	$\geq 10\%$	Sikkert
O <sub>2</sub> holdetid	10 minutter med 10-13,5%	Ikke sikkert
CO	$< 1500\text{ppm}$	Sikkert
Brann	slokket	Godkjent
<p><b>Kommentar:</b> Med ytterdøren til gangen åpen, klarte anlegget å slokke brannen. Slokkegassen ble utløst 5 minutter og 56 sekunder etter antennelse. Omgivelsene oppnådde designkonsentrasjonen på 12,3% O<sub>2</sub> 7 minutter og 33 sekunder etter antennelse og oversteg minimumskravet 10 minutter og 8 sekunder etter antennelse, dermed opprettholdt ikke anlegget akseptkriteriet for O<sub>2</sub> holdetid. Etter 17 minutter og 51 sekunder ble forsøket avsluttet, og brannmaterialet ble båret ut i frisk luft. Kort tid etter re-antente det.</p>		

Tabell 13: Oversikt for status til forsøk A2 for de diverse parameternes akseptkriteriet

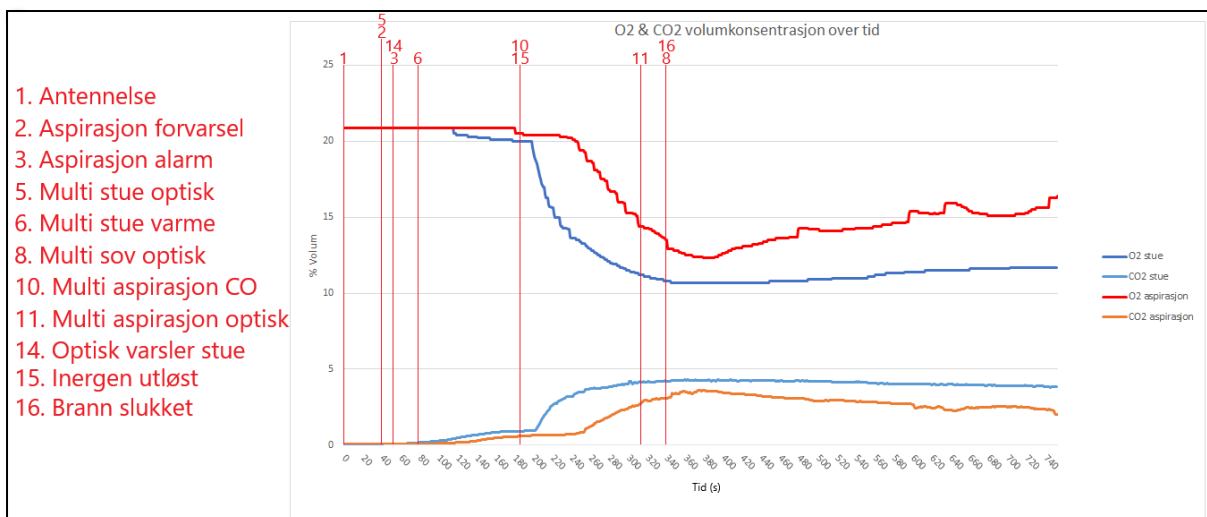




Figur 35: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk A3



Figur 36: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk A3



Figur 37: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk A3



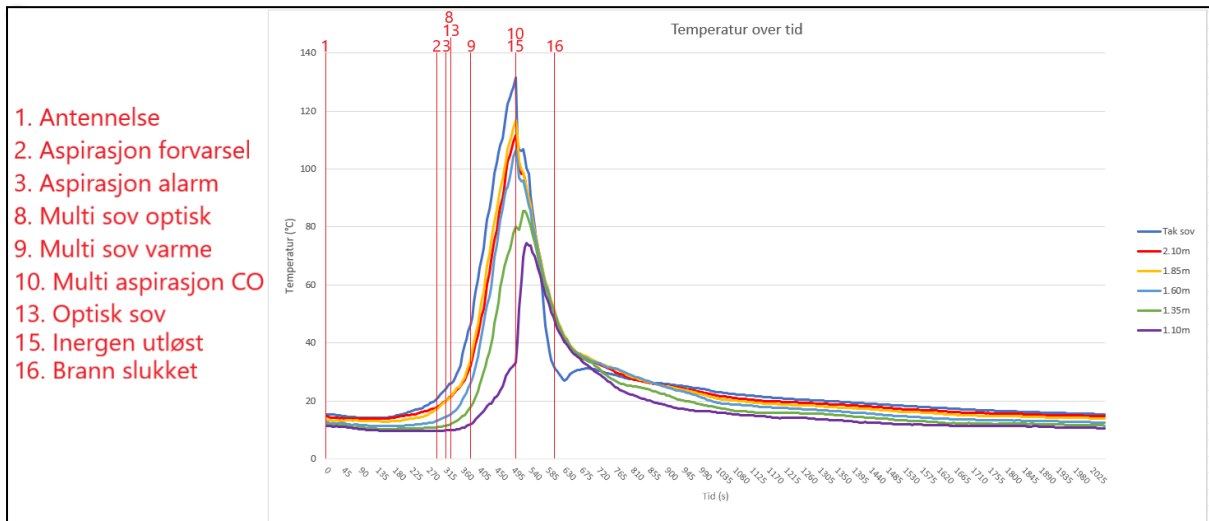
Figur 38: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk A3

Parametere	Akseptkriterier	Status
Sikt	$\geq 3\text{m}$	Delvis sikkert
Varme tak	$\leq 320^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\leq 95^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\geq 55^{\circ}\text{C}$ maks 2 min	Godkjent
CO <sub>2</sub>	$\leq 5\%$	Sikkert
O <sub>2</sub>	$\geq 10\%$	Sikkert
O <sub>2</sub> holdetid	10 minutter med 10-13,5%	Sikkert
CO	$< 1500\text{ppm}$	Sikkert
Brann	slokket	Sikkert
<p><b>Kommentar:</b> Slokkegassen ble utløst 3 minutter og 7 sekunder etter antennelse. Designkonsentrasjonen på 12,3% O<sub>2</sub> ble oppnådd 6 minutter og 24 sekunder etter antennelse og oversteg minimumskravet på 13,5% 29 minutter og 38 sekunder etter antennelse. Dermed opprettholdt anlegget akseptkriteriet for O<sub>2</sub> holdetid. På tidspunkt med dårligst sikt var ikke mulig å se figuren på 3m avstand på kamera. Konturen til veggen som figuren var plassert på var synlig.</p>		

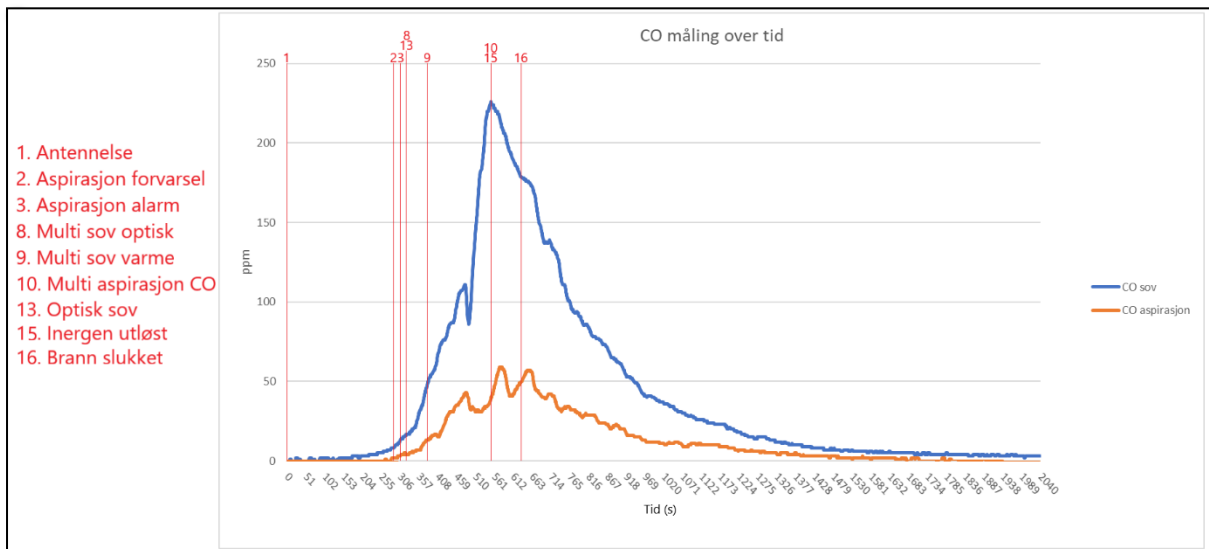
Tabell 14: Oversikt for status til forsøk A3 for de diverse parameternes akseptkriteriet

### 8.1.2 Scenario B (soverom)

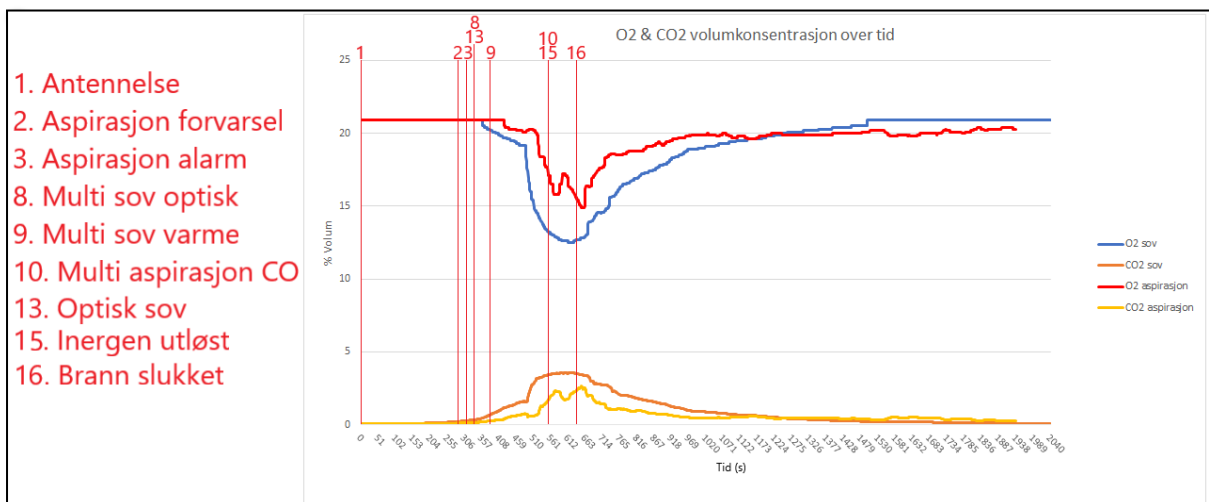
#### Forsøk B1 (Åpent vindu)



Figur 39: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk B1



Figur 40: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk B1



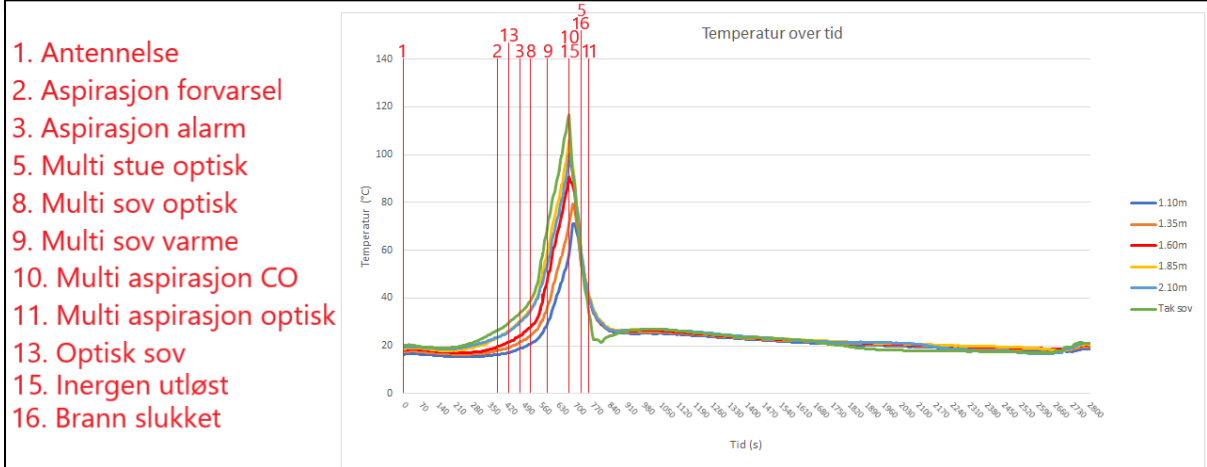
Figur 41: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk B1



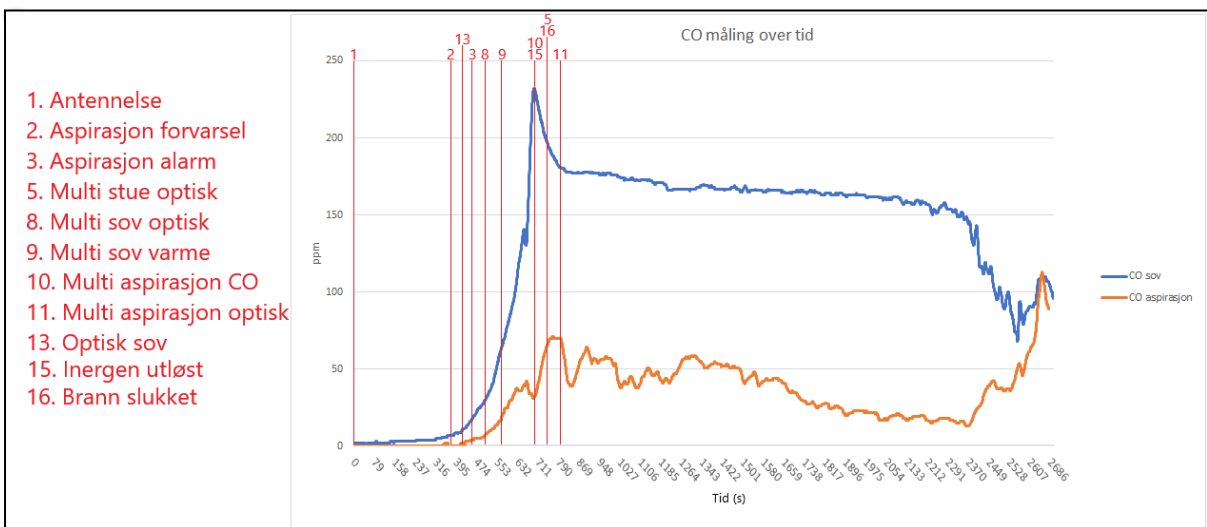
Figur 42: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk B1

Parametere	Akseptkriterier	Status
Sikt	$\geq 3\text{m}$	Sikkert
Varme tak	$\leq 320^{\circ}\text{C}$	Ikke godkjent
Varme 1,6m høyde	$\leq 95^{\circ}\text{C}$	Ikke godkjent
Varme 1,6m høyde	$\geq 55^{\circ}\text{C}$ maks 2 min	Ikke godkjent
CO <sub>2</sub>	$\leq 5\%$	Sikkert
O <sub>2</sub>	$\geq 10\%$	Sikkert
O <sub>2</sub> holdetid	10 minutter med 10-13,5%	Ikke sikkert
CO	$< 1500\text{ppm}$	Sikkert
Brann	slokket	Sikkert
<p><b>Kommentar:</b> O<sub>2</sub> nivå nådde laveste verdi på 12.5% og oppnår dermed ikke designkonsentrasjonen. Allikevel ble brannen slokket ca. 1 ½ minutt etter utløsningen av IG-541. Oksygenivået var under 15% i 3 minutter og 56 sekunder. Temperaturen oversteg 100°C ved en høyde på 1,6m og nådde 131,5°C i taket før utløsning av slokkegassen.</p>		

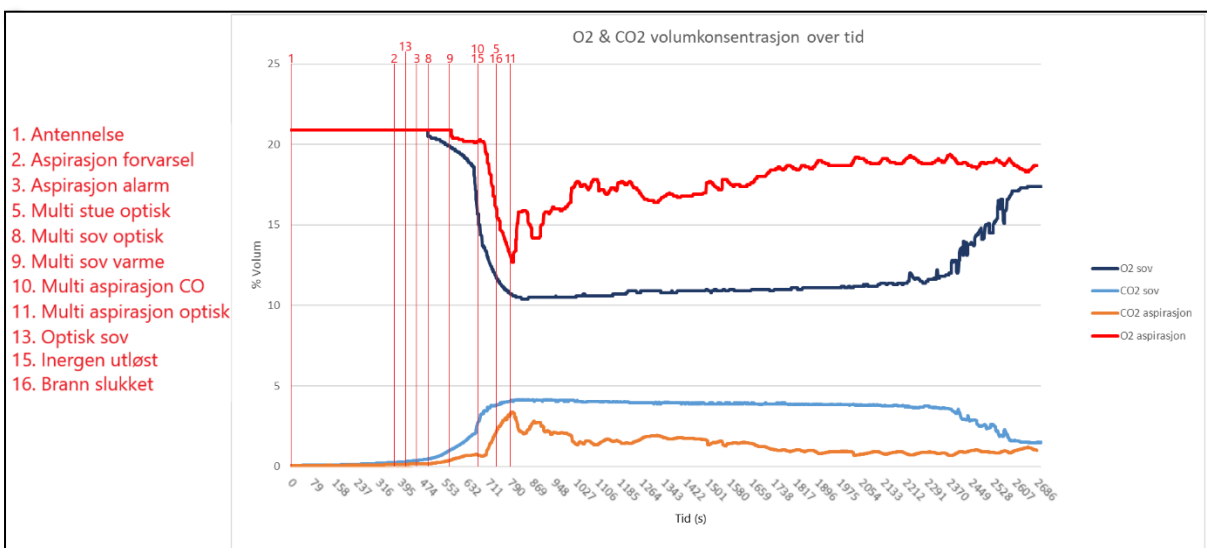
Tabell 15: Oversikt for status til forsøk B1 for de diverse parameternes akseptkriteriet



Figur 43: Grafisk fremstilling av temperatur-måling over tid for forsøk B2



Figur 44: Grafisk fremstilling av CO-måling over tid for forsøk B2



Figur 45: Grafisk fremstilling av O2- & CO2-måling over tid for forsøk B2



Figur 46: Fra venstre: Kort tid etter antennelse, utløsning IG-541 og 10 minutter etter utløsning – Forsøk B2

Parametere	Akseptkriterier	Status
Sikt	$\geq 3\text{m}$	Ikke sikkert
Varme tak	$\leq 320^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\leq 95^{\circ}\text{C}$	Godkjent
Varme 1,6m høyde	$\geq 55^{\circ}\text{C}$ maks 2 min	Godkjent
CO <sub>2</sub>	$\leq 5\%$	Sikkert
O <sub>2</sub>	$\geq 10\%$	Sikkert
O <sub>2</sub> holdetid	10 minutter med 10-13,5%	Sikkert
CO	$< 1500\text{ppm}$	Sikkert
Brann	slokket	Sikkert
<p><b>Kommentar:</b> Slokkegassen ble utløst 11 minutter og 15 sekunder etter antennelse. Designkonsentrasjon på 12,3% O<sub>2</sub> ble oppnådd 1 minutt og 22 sekunder etter utløsning og oversteg minimumskravet på 13,5% 30 minutter og 50 sekunder, da forsøket ble avsluttet. Dermed opprettholdt anlegget akseptkriteriet for O<sub>2</sub> holdetid. Rommet ble helt røyklagt gjennom forsøket som førte til null sikt. Temperaturen nådde 90,7 °C ved en høyde på 1,60m og nådde 112,3°C i taket før utløsning av slokkegassen. Ca. 44 sekunder etter utløsningen av IG-541 ble brannen slokket.</p>		

Tabell 16: Oversikt for status til forsøk B2 for de diverse parameternes akseptkriteriet

## 9. Diskusjon av andre forsøksserie

Diskusjonen av resultatene fra andre forsøksserie kommer på dette tidspunktet med den hensikt å skape en gjennomgående struktur og god lesbarhet. Kapittelet vil drøfte dataen som er innsamlet fra forsøksserien, og måle disse opp mot akseptkriteriene. Innledningsvis vil forsøksmetoden og gjennomføringen av forsøkene bli diskutert.

### 9.1 Forsøksmetode og feilkilder

Alle forsøkene ble utført i samme testleilighet, noe som fører til at testobjektets struktur og materialer ikke vil endre seg underveis i forsøksperioden. Det ble gjennomført full utluftning og oppvarming av rommet som skulle brukes mellom hvert forsøk. Leiligheten er byggeteknisk forenklet, og består av andre materialer enn hva man forventer av en tilsvarende reell ROP-bolig. Særlig kan isolasjon, tettelistere og kledningsvalg påvirke utviklingen av brannen. Selv om dette er faktorer som kan føre til forskjeller mellom utførte tester og reelle hendelser er det trolig snakk om små utslag. Forholdene gjør testene mer konservative som årsak at forsøksboligen er mindre tett enn hva som vil være reelt. Leilighetens utforming er basert på en liknende ROP-bolig og ventilasjonssystemet er av tilsvarende kapasitet som boligene i Karmøy kommune. Dette vil sannsynlig gi resultater som er godt overførbare til reelle scenarier.

For å minske risikoen for brannspredning inne i testleiligheten ble forsøksmateriale plassert i et metallkar. Dette førte til at brannen fikk en begrensning mot annet brennbart materiale i boligen. I noen tilfeller resulterte dette i at brannen ikke hadde en naturlig utvikling og reduserte i størrelse før slokkegassen ble utløst. For å hensynta dette ble det brukt relativt store mengder brennbart materiale i metallkaret under forsøkene med slokkegass. Ved et faktisk branntilløp vil CO-nivået trolig nå noe høyere verdier, som årsak av en naturlig brannutvikling hvor mer materialer antenner før slokkegassen utløses.

For den faktiske omsorgsboligen vil ventilasjonsanlegget forrigles opp mot brannalarmanlegget. Ved deteksjon av første alarmkriterium vil spjeld stenge luften inne i branncellen for å hindre spredning av slokkegass ved utløsning. For å simulere denne effekten ble ventilasjonsanlegget slått av manuelt ved første alarm. Målingene i aspirasjonsanlegget ble kontinuerlig overvåket under forsøkene slik at deaktivering inntraff på korrekt tidspunkt.

Testene ble utført innendørs i en testhall uten isolasjon. Forholdene medførte at temperaturen ved de ulike forsøkene var noe varierende, men som følge av varmeovner benyttet mellom hvert forsøk ble det oppnådd en romtemperatur på rundt 15°C ved antennelse. Dette er noe lavere sammenliknet med hva som vil være reelt. Lavere romtemperaturer kan føre til en litt saktere brannutvikling fordi brennbarhetsområdet for branngassene blir mindre, men dette gir trolig ingen utslag på resultatene. Flaskene som ble brukt til å konservere IG-541 var plassert utenfor leiligheten der temperaturen på forsøksdagene var 5-8°C. For boligene på Karmøy vil disse flaskene plasseres i et oppvarmet teknisk rom. Denne feilkilden medfører forskjeller i gassens temperatur ved utløsning. Fordelen med lavere gasstemperaturer ved utløsning, er at det kan føre til nedkjøling av rommet. Ulempen vil være at kald gass som strømmer ut vil føre til at fuktigheten i luften kondenserer, noe som gir dårligere sikt en liten periode. Vindhastigheten de aktuelle dagene er også relevant for resultatene der det ble gjennomført tester med åpne dører. Særlig vil dette gi utslag for forsøkene med gjennomtrekk i leiligheten der tre store porter i brannhallen stod åpne for å konstruere forhold korresponderende med omgivelsene utendørs. Her var utendørstemperaturen på 4-7°C og vindhastigheten på 3-4m/s. Se vedlegg D for full oversikt. Vindhastighet og vindretning vil trolig ha stor betydning for holdetiden til slokkegassen ved gjennomtrekk, fordi en stor andel av gasskonsentrasjonen vil forsvinne ut. Med en betydelig forsyning av friskluft utenfra vil oksygenivået raskt stige til et nivå der brannen kan fortsette å utvikle seg. Under forsøket med fullt gjennomtrekk var laveste registrerte oksygenivå i stue på 16,5% (se Figur 29).

Det ble gjennomført mange tester i forsøksboligen hvor samme optiske og multikriterie detektorer ble brukt til flere forsøk. Etter mange forsøk måtte optiske detektorene byttes ut, da de gikk i alarm i frisk luft. Dette peker på at sot kan ha påvirket sensitiveten for alle detektorene.

Ved testene ble videokamera plassert inne i forsøksboligen med hensikt å måle sikt. Dette var ansett som en god måte å måle sikt under brannforløpene, men videoen fra kameraene gjenspeiler ikke virkeligheten. Oppløsningen på filmene er lavere enn synet til mennesker og lysstyrken var lav. Dette førte til at videoene ble mørke og av dårligere kvalitet enn forventet. Likevel gir det en indikasjon på hvor god sikt det var. Hvis det hadde vært etablert en observasjonspost der et menneske noterer sikten, ville det gitt mer sikre resultater.



Ved behandling av dataen ble det oppdaget at termoelementet plassert på 2,10m høyde i stue var defekt og målte for lave temperaturer. Dette ble ansett som lite problematisk ettersom det var plassert termoelement i taket på 2,30m høyde i nærheten.

Andre feilkilder som er med på å gi usikkerheter rundt data og tidspunkt for hendelser:

- Datalogger og stoppeklokker ble manuelt startet samtidig.
- Noen tidspunkt for hendelser ble notert manuelt som kan føre til mindre avvik.
- Måleutstyr ble synkronisert hver morgen før gjennomføring av forsøk. Påfølgende dag var det behov for ny synkronisering. Trolig kan de skille med noen sekunder i datagrunnlaget.
- Tidspunkt for antennelse kan skille med noen sekunder, som årsak at det tok ca. 5 sekunder å få fyr på tennbriketten.
- Gassmålingene er 10 sekunder forsinket, fordi det tar 10 sekunder fra gassen suges inn i slangen til den når gassmåleren.
- Røykdykker gikk inn og ut av bolig ved start og slutt av forsøket.
- Oppsett av materialer for forsøkene var vanskelig å gjenspeile identisk.

## 9.2 Slokkeeffekt

Slokkeeffekten vurderes ut fra hvilken grad brannen ble slokket i de ulike forsøkene. Åpninger på vinduer og dører påvirket slokkeeffekten negativt, da tilluft økte  $O_2$ -konsentrasjonen.

I alle forsøk hvor dører og vinduer er lukket, er slokkeeffekt og holdetid god. I forsøk A2 (en dør åpen) og A3 (alle dører lukket) ble  $O_2$ -nivået senket tilstrekkelig for at brannene slokket på tross av åpninger i fasaden. Oksygnivået i de to forsøkene hadde en minimumsverdi på henholdsvis 11,5 og 10,7%. For begge disse forsøkene nås designkonsentrasjonen på tross av at det er tilluft til brannrommet. Ved å sammenlikne Figur 33 og Figur 37 fremkommer det at konsentrasjonen av oksygen øker mye raskere med åpning i fasaden enn med dører og vinduer lukket. I forsøk A1 (begge dører åpne) ble ikke  $O_2$ -nivået lavere enn 16,5%. I en kort periode kunne det antydes at brannutviklingen ble begrenset, men oksygenkonsentrasjonen ble ikke lav nok til å slokke brannen. På tross av at hypotesene om dårlig slokkeeffekt med et åpent vindu eller en åpen dør viste seg å være gale, har mengden tilluft stor innvirkning på

slokkeeffekten. Av dataen som fremkommer i forsøkene er det tydelig at mengden tilluft må begrenses for at slokkeeffekten skal opprettholdes.

Det var ingen tegn til re-antennelse da forsøk A2 ble avsluttet, 17 minutter og 51 sekunder etter antennelse. O<sub>2</sub>-konsentrasjonen var 16,7% i boligen på dette tidspunktet. Da karet med materialer ble tatt ut av leiligheten antente brenselet på nytt etter kort tid. Dette peker på at den gjenværende mengden slokkegass kan forhindre re-antennelse, på tross av at holdetiden er brutt. Dette kan øke sikkerhetsmarginen brannvesenet har til å gjennomføre redningsinnsats. Basert på det begrensede antall forsøk som er utført i denne studien, er det ikke bevist at dette alltid er tilfellet.

For at funksjonaliteten til slokkesystemet skal være tilstrekkelig god, viser forsøk A1 at det må gjøres tiltak for å forhindre store luftgjennomstrømninger bruk utløsning av slokkegass. Det er mulig å montere dørpumper på dørene for at disse skal lukkes automatisk. På grunn av faren for at beboerne demonterer eller ødelegger disse, er dette av arbeidsgruppen sett på som en lite robust løsning. To inngangsdører er montert som et sikkerhetstiltak slik at myndighetspersonell som skal inn i boligen alltid har en tilgjengelig fluktrute. Dersom det ikke ansees som nødvendig med to dører, vil det kunne løse mye av utfordringene knyttet til gjennomtrekk. Et annet bidrag til å begrense luftinnstrømning er å begrense vinduenes åpningsslag. Dataen fra forsøk A2 (en dør åpen) og B2 (vindu åpent) viser at anleggets funksjonalitet er opprettholdt selv med noe tilluft. Datagrunnlaget som er presentert gir ikke grunnlag for å fastsette grensen for hvor mye åpning det kan være i fasaden før slokkeanlegget mister sin funksjonalitet.

### 9.3 Akseptkriterier

En rekke akseptkriterier ble fastsatt iht. standarder, IMT-beregninger og tidligere forskning. Fra resultatene presentert i kapittel 8, er det tydelig at akseptkriteriene for CO, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub> ble ivaretatt i alle forsøk. Resultater angående de resterende akseptkriteriene er varierende ut ifra de ulike forsøkene og forholdene i forsøksboligen.

Holdetiden viste seg å være ivaretatt med god margin i forsøk A3 og B2 når inngangsdører og vinduer var lukket (Se Figur 37 og Figur 45). Når vinduer eller dører stod åpne i både stue- og soveromsforsøkene, ble ikke holdetiden overholdt. I forsøk A1 ble ikke designkonsentrasjonen nådd ettersom to åpne dørene førte til stor luftgjennomstrømning. I

forsøk B1 (et vindu åpent), nådde heller ikke O<sub>2</sub>-nivået designkonsentrasjonen (Se Figur 41), og holdetiden ble derfor ikke ivaretatt. Allikevel slokket brannen, noe som viser at designkonsentrasjonen er konservativ med tanke på å oppnå slokkeeffekt. Ved forsøk A2 (en dør åpen), ble designkonsentrasjonen oppnådd, men ca. 2,5 minutter etter steg O<sub>2</sub>-nivået over minimumskravet som skulle vært opprettholdt i minst 10 minutter. Slik det belyses i kapittel 9.2 Slokkeeffekt, kan funksjonaliteten til slokkegassen delvis opprettholdes selv om holdetiden ikke er ivaretatt. Dersom holdetiden skal overholdes må åpninger i fasaden begrenses.

Det viste seg å være en relativt stor forskjell på temperaturøkning i stue og soverom. I alle forsøkene i stuen, ble de tre akseptkriteriene for temperatur ivaretatt. Ved forsøk B2 (vindu lukket) på soverommet var temperaturen godt over 95°C på 1,6m høyde før slokkegassen ble utløst (Se Figur 43). Med løsningene som er valgt i testboligen ble altså ikke akseptkriteriene for varme overholdt for alle forsøkene på soverommet. Dette kommer av at volumet til stua er ca. 3,8 ganger så stort som i soverommet, noe som fører til at oppvarming skjer hurtig på soverom. Arbeidsgruppens hypotese angående akseptkriterier for varme var dermed korrekt. Dette er det eneste akseptkriteriet som direkte kan sammenliknes med krav satt til sprinkleranlegg. Når akseptkriteriet for varme ikke ble overholdt er det, med bakgrunn i de gjennomførte forsøkene, vanskelig å argumentere for at sikkerheten er minst like god for Inergen-anlegg som for sprinkleranlegg. Løsningen på dette er å implementere tiltak som forhindrer høye temperaturer i små rom. Dersom varme kunne brukes som et kriterium for utløsning av IG-541, og satt til eksempelvis 60°C, ville dette kunne føre til at akseptkriteriet ble overholdt.

Ved forsøk A1 og A2 (to dører åpne og en dør åpen) i stuen var sikten god og akseptkriteriet ivaretatt. Ved forsøk A3 (dører lukket) var det vanskelig å se figuren plassert tre meter fra kamera, men man kunne se konturen til veggen som figuren satt på. Med bakgrunn i at videoene var av dårlig kvalitet, kategoriseres sikt i dette forsøket som sikkert. Ved forsøk B1 (vindu åpent) på soverommet var det mulig å se hele rommet med diagonal lengde over 3m. For forsøk B2 (vindu lukket) var sikten derimot svært dårlig og akseptkriteriet ble ikke ivaretatt. Slik som belyst i forrige avsnitt blir små rom hurtig varmet opp og likeså raskt fylt med røyk. For å redusere sannsynligheten for kritiske siktforhold er det viktig at soverom utformes med tilstrekkelig størrelse og takhøyde. Evt. kan man ha åpen forbindelse mellom

soverom og resten av boligen. Tidligere utløsning av slokkegass kan også være en løsning, da det vil begrense brannens tidsrom til å produsere røyk. Åpninger i vinduer og dører bidrar positivt for sikten i boligen, fordi det skaper naturlig ventilering av røykgasser. At boligen er liten og beboer er kjent med utformingen vil bidra positivt for rask og sikker rømning. Likevel må det tas forbehold om at beboeren til tider kan være immobil. Boligens begrensede størrelse vil også være en fordel for brannvesenet, som vil være i stand til å lokalisere og evakuere mennesker raskt.

#### 9.4 IG-541 og personsikkerhet

Som utledet i teorikapittelet kan regelverket tolkes som at det økte kravet til tilgjengelig rømnings- og redningstid for bygg i risikoklasse 6, er tilfredsstillt når funksjonaliteten til det automatiske slokkeanlegget opprettholdes i 30 minutter. Selv om Jansen [26] og Skraastad [27] beskriver at slokkemiddelet kan være personsikkert i opptil 30 minutter, kan produkter fra brannen føre til at kritiske forhold oppstår før 30 minutter etter brannstart. Akseptkriteriene for CO, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>, som tar hensyn til menneskelige tålegrenser, ble overholdt i alle forsøkene i den andre testserien. Dette var ikke tilfellet for varme i alle forsøk. Flere av forsøkene ble avsluttet før 30 minutter hadde gått. Bortsett fra forsøk A1, hvor brannen ikke ble slokket, var gass-konsentrasjonene i testboligen stabil eller på vei oppover på tidspunktet forsøkene ble avsluttet. Det er lite som peker mot at forholdene hadde forverret seg i boligen frem til 30 minutter hadde gått, gitt at brannen ble slokket. For å kartlegge muligheten for re-antennelse, burde forsøkene pågått i 30 minutter etter utløsning. Dette fordi eventuelle re-antennelser kunne forverret forholdene for personsikkerhet i boligen. Med de valgte tekniske løsningene for anlegget og boligen er det vanskelig å si om slokkesystemet alltid vil opprettholde personsikkerheten i 30 minutter. Åpninger i fasaden og høye temperaturer er en utfordring, ettersom dette er faktorer som øker sannsynligheten for re-antennelse og skaper usikkerhet rundt personsikkerhet. Dersom det implementeres tiltak for å motvirke dette, er det av arbeidsgruppens forståelse at slokkeanlegg med IG-541 vil gi tilsvarende personsikkerhet som preaksepterte sprinkleranlegg.

## 10. Kostnadsoverslag for slokkesystemer

Denne analysen skal avdekke kostnader knyttet til Inergen- og sprinkleranlegg. Analysen har til formål å gi et grovt overblikk over langtidskostnader, og gi et sammenlikningsgrunnlag på pris ved installasjon av de forskjellige anleggene. IG-541 gasslokkeanlegg skal installeres i boligene underlagt Karmøy-prosjektet. Til sammenlikning er sprinkleranlegg det mest brukte automatiske slokkeanlegget i Norge. En utgreiing av kostnadene for sprinkleranlegg og slokkeanlegg med IG-541 skal derfor gjennomføres. Det vil tas utgangspunkt i forskjellige scenarier for å skape et bredere innsyn i kostnader over tid for slokkeanleggene.

Kostnader som skal avdekkes er knyttet til installasjon og vedlikehold av systemet, omplassering av beboere etter brannhendelser, rehabilitering etter typiske brannscenarier og systemenes levetid. Det tas ikke hensyn til prisutvikling over tid, da dette trolig vil være relativt likt for Inergen og sprinkler.

For analysen vil det tas utgangspunkt i boligprosjektet til Karmøy kommune, i tillegg vil deres tall være grunnlag for antagelser angående kostnader ved nedetid etter brannforløp. Det er tatt kontakt med Fire Eater AS, Total Sprinkler AS og ekstern veileder Arnstein Fedøy, for å tallfeste andre kostnader tilknyttet Inergen- og sprinkleranlegg. Da utvalget av aktører som er involvert for å gi veiledende kostnader er få, kan det gi usikkerhet til helhetsbilde av analysen.

### 10.1 Kostnader knyttet til installasjon

Kostnader som kan bindes opp mot installasjon av slokkeanleggene innebærer detaljprosjektering av systemet, anleggets komponenter og installasjonsarbeidet. For IG-541 slokkeanlegg vises det til kostnadene som er oppgitt av leverandør for ROP-boligene på Karmøy. Sprinkleranlegg vil ifølge Total Sprinkler AS koste 129 000 kr. Denne prisen er et grovt overslag med sprinklersentral i teknisk rom og rørnett med sprinklerhoder til de 2 boligene. Inergen- og sprinkleranlegg medfører årlig kontroll og vedlikehold av FG-godkjent kontrollfirma, som er estimert til 10 000kr.

### 10.2 Kostnader som følge av utløsning

Utløsning av slokkeanlegg vil føre til kostnader basert på hvor dyrt slokkemiddelet er og hvor omfattende det er å tilbakestille anlegget. Kostnader knyttet til skadene slokkemiddelet påfører leiligheten, vil også være en del av dette punktet på tross av at det er vanskelig å

tallfeste. Det er gjort en antagelse i 10.5 Antagelser, som baseres på gjennomsnittspriser for vannskader for å tallfeste sekundærskader. Prisen per flaske med IG-541 er oppgitt av leverandør til å være 12 500 kr. Ettersom flaskebanken består av to flasker gir dette en pris per utløsning på 25 000 kr. Det antas at tilbakestilling av system og leveringskostnad er inkludert i denne prisen. Det er også antatt at flaskebankene blir levert og byttet ut innen 2 dager.

### 10.3 Kostnader som følge av nedetid og omplassering

For å gi et innsyn i typiske hendelsesforløp i etterkant av et brannforløp i ROP-boliger, vises det til prosedyrer i Karmøy kommune. Ved branntilløp vil eksisterende bolig rehabiliteres og som regel tildeles en annen beboer. Den tidligere beboeren blir flyttet til akuttbolig som står tomme for slike tilfeller. Karmøy kommune bruker som oftest noen måneder på å finne ny bolig på grunn av beboerens adferd kan stille store krav til plassering. Dermed kan nede-tiden av skadet bolig være kortere enn tiden kommunen bruker å omplassere beboeren. Total kostnad for nede tid i ROP-boliger ligger på ca. 67 840 kr eks. mva. Summen for nede-tid innebærer:

- Tømming, rydding og vask av bolig som utføres av boligkontor drift. Denne kostnaden dekkes ikke av forsikringsselskap.
- Saksbehandlers bistand til etablering i ny bolig med nye møbler og hvitevarer, enten via søknad til NAV eller via reservelager. Estimert 2 arbeidsdager.
- Prosjektleders ressursbelastning av administrasjonsarbeid med ny bolig.
- Møtevirksomheter og egenarbeider ved behov for ny bolig, estimert til 100 timers arbeid.
- Manglende betaling ved overgang til ny bolig, estimert 2 måneder manglende leieinntekt.

### 10.4 Forsikringsselskapers kostnader relatert til ROP omsorgsboliger

For å få et innblikk i kostnader relatert til ROP-omsorgsboliger, har gruppen tatt kontakt med Geir Grønsholt som er fagsjef hos KLP skadeforsikring. Det kom frem at skader i kommunale boliger koster forsikringsselskap mye penger i året, men sekundærskader der årsaken var utløst sprinkleranlegg, var betydelige mindre kostnadskrevende sammenlignet med hærverk av beboerne. Grønsholt ga approksimative tall på ca. 200-300 millioner kroner årlige

kostnader fra vannskader av utløst sprinkleranlegg og 1,7 milliarder kroner fra hærverk. I sammenheng med disse kostnadene er det viktig å belyse faktumet at det finnes mange slike boliger uten automatisk slokkesystem. Årsaken til dette er at bruken av boligen ikke alltid blir hensyntatt ved prosjektering, og derfor blir prosjektert i risikoklasse (RKL) 4 iht. TEK17 [19]. Dersom alle disse boligene hadde vært klassifisert som RKL 6 og prosjektert iht. TEK10 eller senere utgaver av byggt teknisk forskrift, ville alle boligene hatt automatisk slokkeanlegg. Det er rimelig å anta at dette ville ført til økte årlige kostnader i forbindelse med vannskader fra utløste sprinkleranlegg.

### 10.5 Antagelser

Det er gjort en rekke antagelser for å forenkle og tallfeste kostnadene som er fremstilt i Tabell 17.

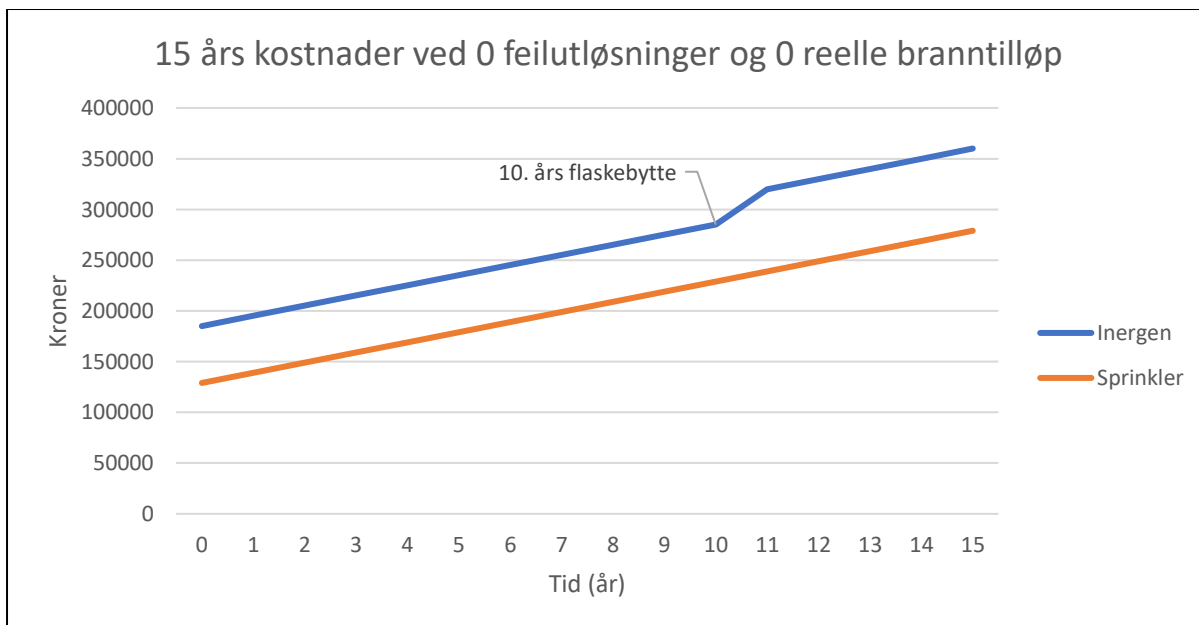
- Det antas at slokkeanlegget alltid fungerer etter hensikt og at reelle branntilløp resulterer i 2 ukers nedetid for sprinkleranlegg og 2 dagers nedetid for Inergen-anlegg.
- Feilutløsning forekommer kun med Inergen-anlegg og ikke sprinkleranlegg, fordi pre-action sprinkleranlegg med skjulte dyser har varme som kriterium for utløsning i tillegg til CO eller optisk deteksjon.
- Det er estimert kostnader tilknyttet sekundærskader ved utløst sprinkleranlegg på 72 000 kr. Denne prisen er estimert ut fra en snittpris på 6000 kr per m<sup>2</sup> for vannskader og at 1 sprinklerhode dekker 12m<sup>2</sup> [50], [12]. Snittprisen for restaurering av vannskader er innhentet fra Boligfiks.no og er antatt å innebære bygningsmessige skader. Det er stor usikkerhet rundt denne kostnaden og den vil trolig variere ved forskjellige brannscenarier.
- For Inergen-anlegg estimeres sekundærskader fra arnested ved et branntilløp å koste 10 000 kr for rehabilitering, inkludert i kostnaden er midlertidig bolig inntil beboer kan flytte tilbake.
- Deteksjonssystem er ikke inkludert i kostnader fordi det antas at kostnaden for pre-action og aspirasjonssystem for deteksjon er relativ lik.
- Kostnader for hærverk på slokkesystemet er ikke inkludert, som årsak at aspirasjonssystemet og institusjonsdyser er skjult.

## 10.6 Sammenlikning av kostnader eks. mva

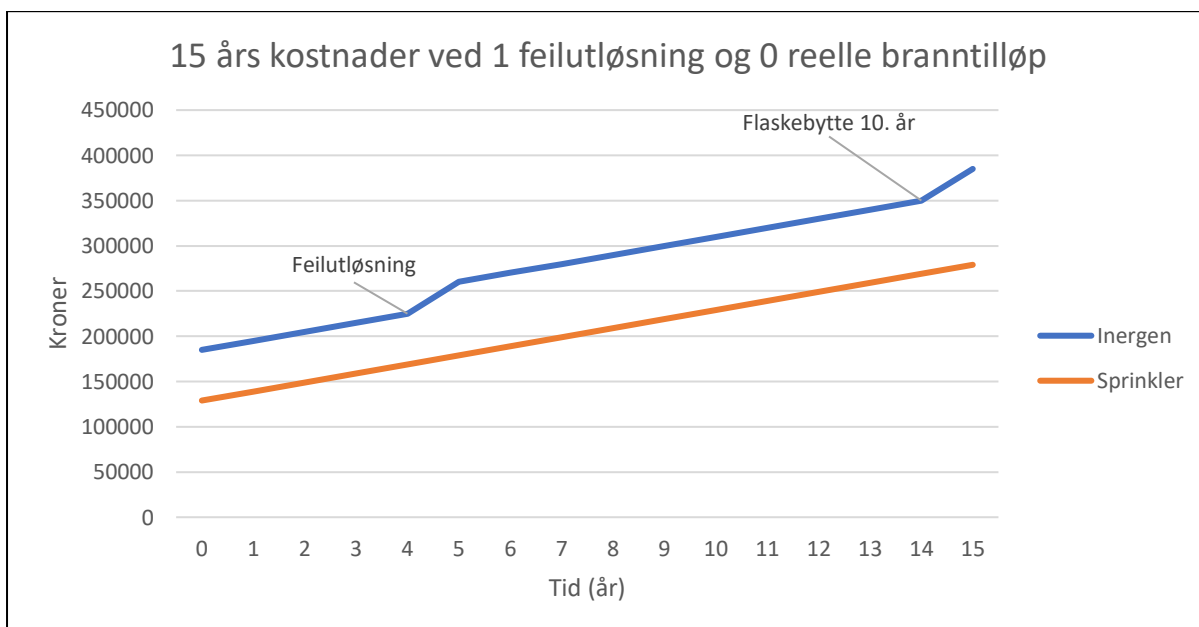
Type kostnad	Sprinkler	Inergen
<b>Automatisk sløkkeanlegg: Prosjektering og installasjonskostnad for 2 boliger med teknisk rom imellom.</b>	<b>129 000 kr</b>	<b>160 000 kr 25 000 kr</b>
<b>Årlig kontroll og vedlikehold.</b>	<b>10 000 kr</b>	<b>10 000 kr</b>
<b>Bytte flaske hvert 10. år.</b>	-	<b>25 000 kr</b>
<b>Feilutløsning.</b>	-	<b>25 000 kr</b>
<b>Reelle branntilløp</b>		
<b>Sekundærskader ved utløsning.</b>		<b>0 kr</b>
<b>Sekundærskader fra arnested ved branntilløp.</b>	<b>72 000 kr</b>	<b>20 000 kr</b>
<b>Slokkemiddel kostnad.</b>	<b>0 kr</b>	<b>25 000 kr</b>
<b>Rydding av bolig.</b>	<b>20 000 kr</b>	<b>20 000 kr</b>
<b>Bistand til etablering i ny bolig med nye møbler og hvitevarer.</b>	<b>6000 kr</b>	-
<b>Manglende betaling ved overgang til ny bolig.</b>	<b>11 840 kr</b>	-
<b>Administrasjon med ny bolig sektor eiendom.</b>	<b>20 000 kr</b>	-
<b>Administrasjon MO senter, boligkontor, juridisk, eiendom mm.</b>	<b>10 000 kr</b>	-
<b>Totalt ved reelt branntilløp</b>	<b>139 840 kr</b>	<b>65 000 kr</b>

Tabell 17: Oversikt over forskjellige kostnader for Inergen- og sprinkleranlegg.

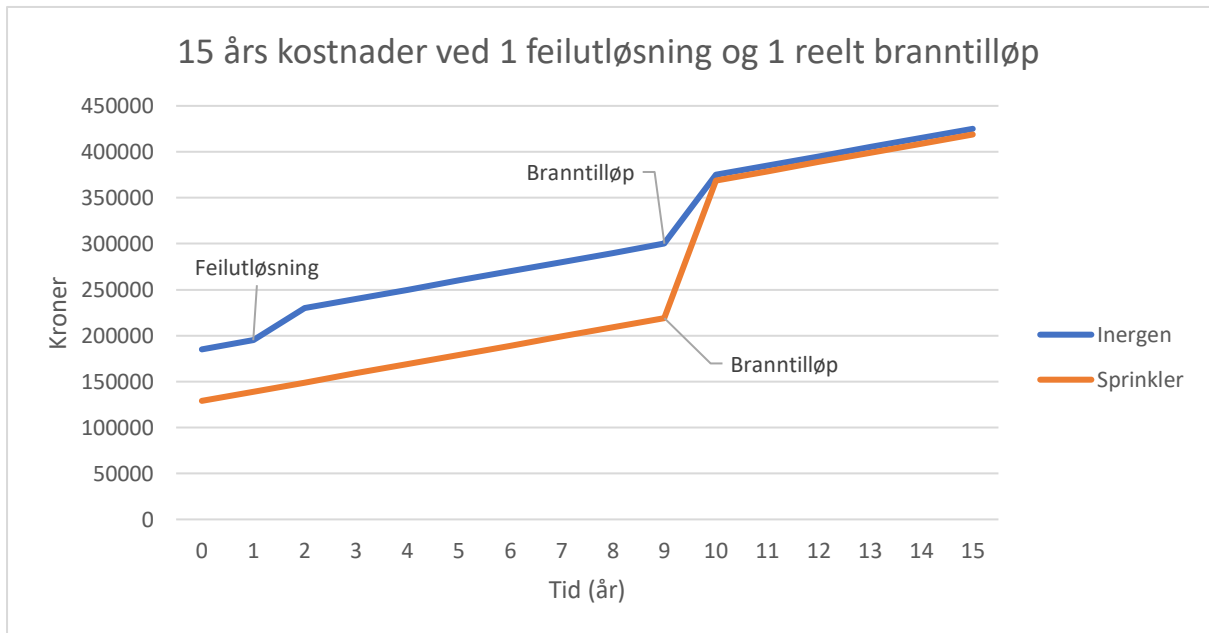




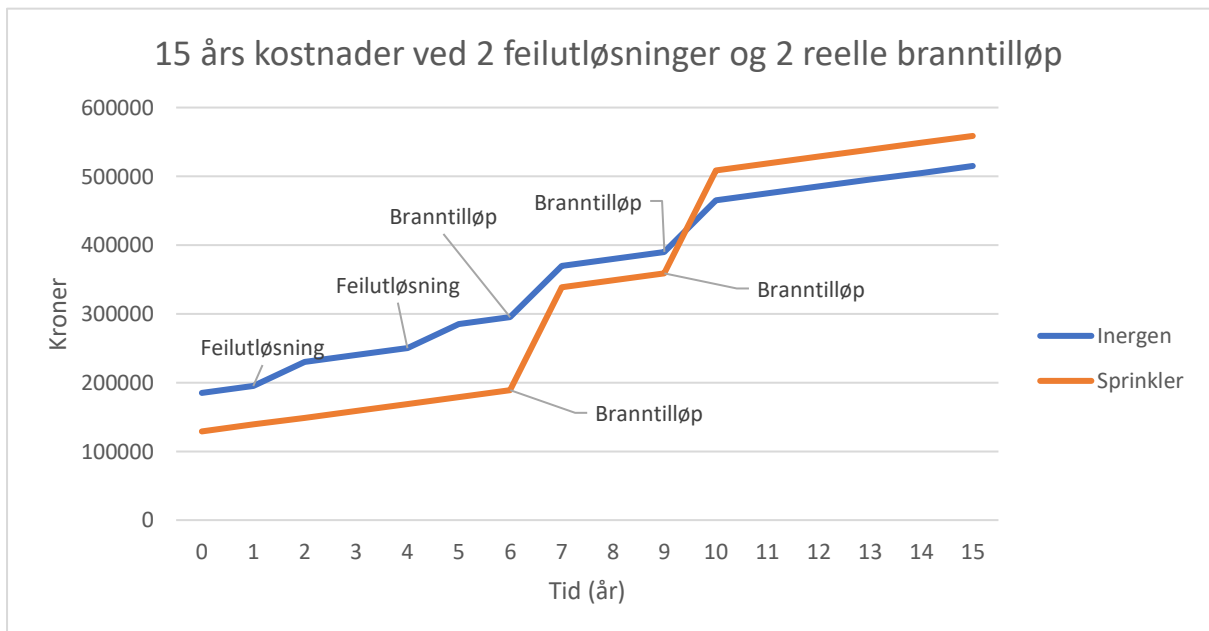
Figur 47: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 0 feilutløsninger og 0 branntilløp.



Figur 48: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 1 feilutløsning og 0 branntilløp.



Figur 49: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 1 feilutløsning og 1 branntilløp.



Figur 50: grafisk fremstilling av kostnader over 15 år for Inergen- og sprinkleranlegg med 2 feilutløsninger og 2 branntilløp.

## 11. Diskusjon av kostnader

For å fastsette kostnader knyttet til valg av slokkeanlegg og konsekvenser ved brann er det mange faktorer som skal hensyntas. For ROP-boliger er det utgifter knyttet til rydding av bolig, omplassering og administrasjon som har vært utfordrende å sammenfatte. Dette er blant annet fordi forskjellige utgiftsposter dekkes av ulike budsjett. For å fremlegge en analyse som er mulig å ta i bruk, var det nødvendig å gjøre en del forenklinger og antakelser. Analysen tar utgangspunkt i scenarier basert på at begge typer slokkeanlegg fungerer etter hensikt ved branntilløp. Dette betyr at sprinkleranlegget vil kontrollere brannen frem til nødetater er på plass og at gasslokkesystemet slokker brannen. I tillegg er ekstra kostnader knyttet til mulige feilutløsninger av Inergen-anlegget belyst. Trenden som vises i figur 47-50 er at sprinkleranlegg vil være et billigere alternativ dersom branntilløp ikke forekommer, mens lønnsomheten for Inergen-anlegg øker i takt med antall branntilløp. Denne påstanden krever at antagelsen om at skadestrukturer og nedetid i boliger beskyttet med Inergen er betraktelig mindre sammenliknet med sprinkler, er korrekt. Det er tatt utgangspunkt i rutinene som benyttes hos Karmøy kommune ved branntilløp. Det er også kommunen som har levert kostnadsoverslagene for postene som vises i Tabell 17. I tillegg til at utgiftspostene vil være ulike for andre kommuner og aktører, er det også usikkerhet knyttet til hendelsesforløpet ved brann. Eksempler på scenarier som er tenkelige, men ikke vurdert er:

- Slokkeanleggene fungerer ikke etter hensikt og bygget blir overtent/totalskadet. Dette ville trolig gitt større konsekvenser for bolig med gasslokkeanlegg da slokkevannet fra sprinkleranlegget i større grad ville bidratt til å forsinke brannutviklingen.
- Skadene etter brannforløpet er større eller mindre enn antatt slik at kostnader knyttet til omplassering og nedetid for bolig avviker fra kostnadsoverslaget.
- Midlertidig omplasseringsbolig er ikke tilgjengelig slik at kommunen må utarbeide en alternativ løsning for brukere.

De ulike aspektene som belyses i analysen bør vurderes av beslutningstakere i kommunen eller tilsvarende instans, som tar avgjørelser på hvordan brukere av ROP-boliger skal beskyttes mot brann. Etter en gjennomgang av de relevante utgiftene er det tydelig at den økonomiske lønnsomheten vil være avhengig av en rekke variabler. Avgjørelsen på hva slags type slokkeanlegg som er mest økonomisk gunstig vil være situasjonsavhengig og bør baseres på hypotesen man anser som mest sannsynlig.

## 12. Konklusjon

Bacheloroppgavens hovedformål var å undersøke om slokkesystem med IG-541 slokkegass er egnet for bruk i ROP-boliger. Den kvalitative arbeidsmetodikken hadde til hensikt å avdekke forhold som kjennetegner boligens antatte beboere, samt fastsette akseptkriterier og forsøks-scenarier. Resultater og observasjoner fra fullskala brannforsøk danner datagrunnlag for å vurdere om slokkesystemet gir tilstrekkelig funksjonalitet, pålitelighet og sikkerhet opp mot akseptkriterier. Kostnadsoverslaget hadde til hensikt å vise langsiktige trender for Inergen- og sprinkleranlegg.

Forsøkene fra de to brannscenariene viste lovende resultater for Inergen-systemets slokkeeffekt, men det ble identifisert to betydningsfulle svakheter som må utbedres for å ivareta funksjonalitet, pålitelighet og sikkerhet til løsningen. Gjennom resultatene fra brannforsøkene fremkom det to punkter som svekker personsikkerheten:

- Temperaturøkning skjer hurtig i mindre, lukkede rom og overstiger fastsatte akseptkriterier for temperaturer. Deteksjonssystemet må utbedres for å hensynta dette.
- Åpninger i dører og vinduer skapte komplikasjoner for holdetiden, særlig ved gjennomtrekk. Brann blir ikke slokket ved for store luftgjennomstrømninger.

De presenterte funnene må utbedres for at funksjonalitet, pålitelighet og sikkerhet til løsningen skal ivaretas. Det ble også observert at fri sikt kan bli kritisk i mindre rom og kan skape problemer ved evakuering.

Det langsiktige kostnadsoverslaget er basert på antagelser som fører til en del usikkerhet. Det viser likevel en trend som tilsier at Inergen-anlegg kan være et lønnsomt alternativ i boliger med høy risiko for branntilløp.

Med bakgrunn i resultatene fra praktiske forsøk og kostnadsoverslaget trekkes følgende konklusjon: Inergen slokkeanlegg er et egnet og kostnadsgunstig alternativ i frittstående ROP-boliger med høy risiko for branntilløp, gitt at man finner løsninger som motvirker høye temperaturer i små rom og begrenser åpninger som fører til stor luftgjennomstrømning.

### 13. Videre arbeid

Oppgaven er konstruert for å gi et best mulig grunnlag til å besvare problemstillingen. Det er likevel mye arbeid i slektskap med tematikken som tas opp, som ville vært interessant å undersøke videre. Arbeidsgruppen har identifisert følgende potensiale for videre undersøkelser og forskning, hvor denne oppgaven kan brukes som utgangspunkt:

- En mer konkret fastsettelse av hvor mye åpning i fasaden som skal til for at slokkegassen ikke har tilstrekkelig funksjon. Utarbeidelse av et verktøy som tallfester hvor store åpninger som skal tillates og hvordan disse må være plassert for å unngå for stor luftgjennomstrømning kunne vært et nyttig hjelpemiddel for fremtidig prosjekteringsarbeid.
- Re-antennelse etter utløsning av slokkegass. Hvor lang tid ville det tatt før ulike materialer re-antenner ved forskjellige scenarier for åpning dersom det blir stående i forsøksboligen. Dette kan ses i sammenheng med holdetid og gassens slokkeeffekt.
- Sette opp klimaregnskap for Inergen-anlegg. Arbeidsgruppen har gjort et økonomisk overslag for kostnader. I fremtiden vil trolig klimaregnskap også inngå som en del av prosjekteringen og være en faktor i vurderingen for hvilke løsninger som skal velges. En analyse av hvor store utslipp et Inergen-anlegg representerer sammenliknet med andre slokkesystemer er en aktuell problemstilling.

## 14. Referanser

- [1] Standard Norge, «Faste brannslukkesystemer - Gass-slukkesystemer - Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold (NS-EN 15004-1:2019),» Standard Online AS, 2019.
- [2] Opplysningskontoret for automatiske slukkeanlegg, «Generelt om gass,» u.å. [Internett]. Available: <https://brannvernforeningen.no/slukkeanlegg/ulike-slukkeanlegg/gass/generelt-om-gass/>. [Funnet 27 01 2022].
- [3] SINTEF Byggforsk, «520.387 Tilgjengelig rømningstid ved brann,» 05 2016. [Internett]. Available: [https://www-byggforsk-no.galanga.hvl.no/dokument/2955/tilgjengelig\\_roemningstid\\_ved\\_brann](https://www-byggforsk-no.galanga.hvl.no/dokument/2955/tilgjengelig_roemningstid_ved_brann). [Funnet 05 2022].
- [4] Forskningsrådet, «Utvikling av nye boligtilbud tilpasset ROP-beboere med lav boevne med vekt på brukermidvirkning,» 2020. [Internett]. Available: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/310100?Kilde=FORISS&distribution=Ar&chart=bar&calcType=funding&Sprak=no&sortBy=score&sortOrder=desc&resultCount=30&offset=0&Fritekst=rop>. [Funnet 23 05 2022].
- [5] Høgskolen på Vestlandet, «Building design for At-risk groups (BUILDER),» u.å. [Internett]. Available: <https://www.hvl.no/prosjekt/2496919/>. [Funnet 23 05 2022].
- [6] B. C. Hagen, «GAP-analyse for boliger for beboere med rus-og psykiatrilidelser (ROP),» Høgskolen på Vestlandet, Haugesund, 2020.
- [7] T. Keilman, «Bygger bedre kunnskap for en mer bærekraftig byggebransje,» Forskningsrådet, Juni 2021. [Internett]. Available: <https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/hvem-kan-soke-om-finansiering/naringsliv/prosjekter-naringslivet/bygger-bedre-kunnskap-for-en-mer-barekraftig-byggebransje/>. [Funnet Mai 2022].
- [8] B. C. Hagen, Grunnleggende brannteknikk, Haugesund, 2018.
- [9] B. Pedersen, «Pyrolyse,» Store Norske Leksikon, 24 Juni 2021. [Internett]. Available: <https://snl.no/pyrolyse>. [Funnet 25 Januar 2022].
- [10] R. D. Strand, *Antennelse (Forelesningsnotat HVL)*, Haugesund, 2020.
- [11] J. E. Andersen, «Brannredning.com,» Mai 2001. [Internett]. Available: <https://brannredning.com/fagstoff/slokkemidler/>. [Funnet Januar 2022].
- [12] Standard Norge, «Faste brannslukkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold (NS-EN 12845:2015+A1:2019),» Standard Online AS, 2020.
- [13] Opplysningskontoret for automatiske slukkeanlegg, «Generelt om sprinkler,» u.å.. [Internett]. Available: <https://brannvernforeningen.no/slukkeanlegg/ulike-slukkeanlegg/sprinkler/generelt-om-sprinkler/>. [Funnet 27 01 2022].
- [14] V. Ziavras, «National fire protection association,» NFPA, [Internett]. Available: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/Blogs-Landing-Page/NFPA->

Today/Blog-Posts/2021/03/26/Sprinkler-System-Basics-Types-of-Sprinkler-Systems?icid=W483.  
[Funnet 28 01 2022].

- [15] SP Fire Research AS, Brannbeskyttelse av tett trehusbebyggelse, Trondheim Kommune, 2016.
- [16] Standard Norge, «Faste brannslukkesystemer Vanntåkesystemer Del 1: Dimensjonering, installasjon, inspeksjon og vedlikehold,» Standard Online AS, 2021.
- [17] SINTEF, «Vanntåke anvendt i bygninger,» DSB, Trondheim, 2003.
- [18] SINTEF Byggforsk, «550.363 Brannsikringsløsninger for rom med skadefølsomt innhold,» April 2009. [Internett]. Available: [https://www-byggforsk-no.galanga.hvl.no/dokument/511/brannsikringsloesninger\\_for\\_rom\\_med\\_skadefoelsomt\\_innhold#i33](https://www-byggforsk-no.galanga.hvl.no/dokument/511/brannsikringsloesninger_for_rom_med_skadefoelsomt_innhold#i33). [Funnet 27 01 2022].
- [19] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning,» 5 Mai 2017. [Internett]. Available: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>. [Funnet 2021].
- [20] Opplysningskontoret for automatiske slukkeanlegg, «Fordeler og utfordringer,» u.å. [Internett]. Available: <https://brannvernforeningen.no/slokkeanlegg/ulike-slokkeanlegg/gass/fordeler-og-utfordringer/>. [Funnet 03 02 2022].
- [21] T. E. Hovda, «Brannslukking med INERGEN,» u.å. [Internett]. Available: <https://docplayer.me/5902542-Brannslukking-med-inergen-tor-eystein-hovda-fire-eater-as.html>. [Funnet 03 02 2022].
- [22] Fire Eater A/S, «Ci UL FM manual,» Hillerød, 2018.
- [23] K. Grimstvedt, *Brannalarmanlegg (Forelesningsnotat)*, Haugesund: HVL, 07.03.2021.
- [24] T. Nordseth, «Hypoksi,» snl.no, 2021. [Internett]. Available: <https://sml.snl.no/hypoksi>. [Funnet 03 02 2022].
- [25] NHI, «Åndedrettet, pusten, ventilasjon,» Norsk Helseinformatikk, 22 05 2020. [Internett]. Available: <https://nhi.no/kroppen-var/funksjoner/pusten-ventilasjon/>. [Funnet 06 03 2022].
- [26] T. Jansen, «ANVENDELSE AF INERGEN I BRANDBEKÆMPELSESØJEMED – EN VURDERING AF PERSON OG PATIENTSIKKERHED. SÆRLIGT FOKUS PÅ EFFEKTEN AF AKUT HYPOXI HOS RASKE OG SYGE INDIVIDER,» University of Copenhagen, København, u.å..
- [27] E. J. Skraastad, «PERSONAL SAFETY IN ATMOSPHERES WITH A REDUCED OXYGEN LEVEL COMPENSATED FOR WITH INCREASED CARBON DIOXIDE,» St Olavs Hospital HF, Trondheim, 2019.
- [28] Standard Norge, «Faste brannslukkesystemer Gass-slukkesystemer Del 10: Fysiske egenskaper og systemutforming av gass-slukkesystemer for IG-541-slokkemiddel, NS-EN 15004-10:2017,» Standard Online AS, 2017.
- [29] Justis- og beredskapsdepartementet, «Brann- og redningsvesenforskriften,» Lovdata, 01 03 2022. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2021-09-15-2755>. [Funnet 22 03 2022].

- [30] RISE fire reseach, «Analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2005 - 2014,» DSB, 2017.
- [31] Norges offentlige utredninger, «Trygg hjemme Brannsikkerhet for utsatte grupper,» Departementenes servicesenter, 2012.
- [32] T. A. Sandøy, «www.fhi.no,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.fhi.no/contentassets/9c8469c859e041a7a8e0e035cb0c75f7/tabeller-til-narkotikabruk-i-norge-2022.pdf>. [Funnet 06 05 2022].
- [33] Brandforsk, «Hur påverkar bränder det hållbara samhället, och vad kan vi göra åt det? Fokus: Ekologisk hållbarhet,» Lund, 2021.
- [34] Bygg21, «Bygg- og eiendomssektorens,» Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2018.
- [35] DSB, «Brannstatistikk.no,» DSB, [Internett]. Available: <https://www.brannstatistikk.no/brus-oi/search>. [Funnet Februar 2022].
- [36] S. G. Ulrik Malt, «Store Norske Leksikon,» SNL, Juni 2020. [Internett]. Available: [https://snl.no/strukturert\\_intervju](https://snl.no/strukturert_intervju). [Funnet April 2022].
- [37] T. K. Adolfsen, «Feil bruk av brannstatistikk: Det er ikke sant at nesten halvparten av alle boligbranner starter på komfyren,» *Brennaktuelle.no*, 07 Januar 2021.
- [38] Kollegiet for brannfaglig terminologi, «FAGUTTRYKK,» u.å.. [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=branntill%F8p>. [Funnet 18 05 2022].
- [39] K. F. Å. T. L. Haakon Lindøe, «Inergen i avdeling beregnet for,» Høgskolen på Vestlandet, Haugesund, 2019.
- [40] Standard Norge, «Analytisk brannteknisk prosjektering Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk, SN-INSTA/TS 950,» Standard Online, 2014.
- [41] J. P. Stensaas, «Toxicity, visibility and heat stresses of fire effluents - human tenability limits.,» Norwegian Fire Research Laboratory, 1991.
- [42] D. Drysdale, Introduction to Fire Dynamics, Scotland, UK: University of Edinburgh, 2011.
- [43] Standard Norge, «NS-EN 12259-14:2020 Faste brannsløkkesystemer — Deler til sprinkler- og vannspraysystemer — Del 14: Sprinklere til boligbruk,» 2020.
- [44] J. P. S. & R. W. Bodil Aamnes Mostue, «Forventet effekt av faste, aktive slokkeanlegg - Boligsprinkler og vanntåke,» SINTEF, Trondheim, 2003.
- [45] F. E. S. L. o. E. Andrew, «sml.snl.no,» 14 03 2020. [Internett]. Available: [https://sml.snl.no/karbonmonosid\\_-\\_medisin](https://sml.snl.no/karbonmonosid_-_medisin). [Funnet 08 02 2022].
- [46] Giftinformasjonen, «helsebiblioteket,» 2018. [Internett]. Available: <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/karbonmonosid-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning>. [Funnet 10 02 2022].



- [47] Avd. for medisinsk biokjemi og farmalogi, «analyseoversikten.no,» analyseoversikten, 21 09 2020. [Internett]. Available: <https://analyseoversikten.no/analyser/61>. [Funnet 10 02 2022].
- [48] FHI, «Karbonmonoksid,» Folkehelseinstituttet, 31 01 2019. [Internett]. Available: <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/karbonmonoksid/>. [Funnet 10 02 2022].
- [49] M. P. S. M. H. N. M. T. A. Alyrene Dorey, «Acute and Chronic Carbon Monoxide Toxicity from Tobacco Smoking,» *Military Medicine*, vol. 185, nr. 1-2, pp. e61-e67, 2019.
- [50] «www.boligfiks.no,» Boligfiks AS, 2022. [Internett]. Available: <https://boligfiks.no/pris/vannskader-1536155168437x666228403337299800>. [Funnet 11 05 2022].

## Vedlegg A – Sjekkliste til forsøk

Sjekkliste som skal gjennomføres før forsøk.

Dato:	Forsøk:	Klokkeslett:
<b>Klargjøring av scenario</b>		
Kontrollere/måle/veie material som skal antennes stemmer med fastsatte krav for det spesifikke brannscenarioet.		
Kontroller åpning på vinduer/dører for det aktuelle forsøket		
Monter optiske detektorer (dersom de er demontert ved utlufting)		
Kontroller høyde og plassering av termoelement		
Kontroller plassering av innsug til gassmåler		
Kontroller plassering og tilkobling på lasermåler og figur		
Heng opp plakater med informasjon om testen, slik at plakaten er synlig på bildene. Type test, test nr. etc.		
Ta bilde av scenariet		
Kontroller plassering av kamera. Bekreft fri sikt, husk ekstra batteri til kamera		
<b>Sjekk av måle- og slukkeutstyr</b>		
Kontroller at termoelementene fungerer og måler temperatur på PC-en		
Kontroller at gassmålere er skrudd på og fungerer		
Kontroller at brannalarmsentralen er nullstilt		
Kontroller at slukkeanlegget er skarpt		
Forsøk med gass-slokking, sjekk etter egen prosedyre.		
Forsøk med kun aktivering av master IV-8 ventil, koble til 1 IV8 ventil via slange til manifold. Sett på trykk og steng igjen flasken.		
Kontroller at slukkeutstyr og verneutstyr er tilgjengelig, maske med filter, ørepropper (ved Inergen forsøk) brille + brannhemmende kjeledress		
Ta en risikovurdering av mulig brannspredning		
Kontroller at alle involverte har observasjonsskjema og penn		
Sjekk at alle instrumenter og alarmsentralen er synkronisert (samme tid)		
<b>Start scenario</b>		
Start kameraer og vis forsøksnummer		
Start gassmålere		
Start loggfører og stoppeklokker samtidig. Dette klokkeslettet må noteres.		
Start brannscenario etter ca. ett minutt. Et termoelement må føres inn i flammen for å indikere start av scenario.		
<b>Etter scenario</b>		
Avslutt datalogger og lagre data på minnepinne (egen mappe)		
Noter tider for utløste alarmer (alarmsentral)		
Overfør data fra gassmålere og lagre data på minnepinne (samme mappe datalogger)		
Samle bilder fra forsøket i felles dokument		
Samle data fra observasjonsskjemaer i felles dokument		
Luft ut og tilbakestill forsøksboligen		

## Vedlegg B - Observasjonsskjema

Forsøksnummer: \_\_\_\_\_

Tidspunkt for start stoppeklokke: \_\_\_\_\_

Observasjon	Tidspunkt	Ansvar
Tid antennelse		Hågen
Foralarm aspirasjon		Sebastian
Alarm aspirasjon		Sebastian
Alarm aspirasjon multikriterie		Sebastian
Utløsning av slokkegass		Hågen
Alarm multikriterie (stue)		Eirik
Optisk røykvarsler (stue)		Eirik
Alarm multikriterie (sov)		Eirik
Optisk røykvarsler (sov)		Eirik

Eventuelle andre observasjoner av interesse (få med tid og navn):

---

---

---

---

Kanal	Beskrivelse	Klokkeslett for deteksjon
001	Aspirasjon, optisk	
002	Aspirasjon, CO	
003	Aspirasjon, varme	
004	Soverom, optisk	
005	Soverom, CO	
006	Soverom, varme	
007	Stue, optisk	
008	Stue, CO	
009	Stue, varme	

## IMT 3.0.x calculation report

### Project

Name Testleilighet  
 Type  
 Application type  
 Location Haugesund  
 Address 1  
 Address 2  
 Country  
 Contact name  
 Contact phone  
 Contact mail  
 Our reference Greger Brattås  
 Our reference mail greger.brattaas@hhfireeater.no  
 Purchase order no.  
 Information Leilighet  
 Revision A  
 Rev. description  
 Design state Work in progress

### Customer

Name  
 Number  
 E-mail  
 Address 1  
 Address 2  
 Country  
 Phone  
 Contact name  
 Contact phone  
 Contact mail

### System data

Cylinder type	Inergen 80L steel cylinder	
Cylinder quantity	2	
Cylinder fill	15.0 °C	300.0 barg
Cylinder storage	20.0 °C	308.8 barg
Atmospheric pressure	1013.0 mbar	
Authority	EN 15004-1:2019	
Pressure relief resistance	1.0	

## Rooms

Room	1	2	3	Total
Name	Stue-kjøkken	Soverom	Bad	
Volume [m <sup>3</sup> ]	56.0	12.4	12.4	80.8
Temperature [°C]	20.0	20.0	20.0	
Hazard	HH A	HH A	HH A	
MDC [%]	41.5	41.5	41.5	
Design factor [%]	0.0	0.0	0.0	
Final Inergen [%]	44.1	44.1	44.1	
Flooding [%]	58.1	58.1	58.1	
Inergen mass [kg]	45.94	10.17	10.17	66.29
Final O2 [%]	11.7	11.7	11.7	
Final CO2 [%]	3.5	3.5	3.5	
Max flow rate [kg/s]	0.95	0.21	0.21	1.37
Max over pressure [Pa]	500	500	500	
Pressure relief [cm <sup>2</sup> ]	191	42	42	275

## Discharge

Pipe family	Sch 80 Galv. steel pipe ASTM A-53 / API-5L Grade A or B
Actual discharge time target	39.4% IG-541
Discharge time	120.0 sec

## Pipe system

No.	N1	N2	Elv	Start	End	Elb	Con	Noz	Room	L	Vol	T	N/P	DN	Press	Dia	M
MT_no1															283.4	5.5	
Pipe															123.0		
1	1	2		Plain	T run	1	0			1.9		100.0	13.4	DN-25			0.056
2	2	3	0.4	T branch	Plain	0	0	IN-15	2	0.2	12.4	15.3	5.6	DN-15	122.53	3.13	0.027
3	2	4		T run	T run	0	0			2.4		84.7	37.1	DN-15			0.166
4	4	6	0.4	T run	Plain	2	0	IN-15	1	3.6	56.0	81.9	31.0	DN-15	99.74	7.37	0.152
5	4	5	0.4	T branch	Plain	0	0	IN-15	3	0.2	12.4	18.1	6.1	DN-15	113.33	3.26	0.029

Volume of pipe system: 0.0017 m<sup>3</sup>

Pipe to cylinder volume: 1.1 %

Minimum pipe working pressure: 125.0 barg

## Description

MT		Manifold with orifice
Pipe		Pipe system inlet (flow from all manifolds merged)
N1, N2		Inlet and outlet nodes
Elv	m	Elevation
Start		Connection at pipe inlet
End		Connection at pipe outlet
Elb		Number of 90 deg elbows
Con		Number of pipe connectors
Noz		Nozzle type
Room		Room number
L	m	Pipe length
Vol	m <sup>3</sup>	Volume of room protected by this pipe
T	%	Tee split ratio
N/P	%	Nozzle to pipe area ratio
Press	barg	Max pressure in pipe at outlet
Dia	mm	Diameter of orifice (Nozzle or Manifold)
M		Mach number at pipe outlet

## Nozzle calibration

Nozzle family: Mono orifice nozzle, maximum working pressure 125 bar.

Node	Room no.	Nozzle no.	Type	Orifice area	Orifice diameter	Q2	Max flow rate	Total IG-541
				mm <sup>2</sup>	mm	%	kg/s	kg
3	2	1	IN-15	7.7	3.13	11.7	0.21	10.17
5	3	2	IN-15	8.4	3.26	11.7	0.21	10.17
6	1	3	IN-15	42.6	7.37	11.7	0.95	45.94

## Orifice calibration

Orifice no.	Cylinders	Orifice diameter	Orifice type	Hose type
		mm		
1	2	5.5	Ci-MTX	Hose DN10-400 0.5m to 2.0m

## Vedlegg D - Værforhold under forsøkene

<b>Test</b>	<b>Dører/vinduer</b>	<b>Porter i Hall of Flame</b>	<b>Vindhastighet (fra Yr.no)</b>	<b>Utendørs-temperatur</b>
A1	Dører inne i leiligheten lukket, begge dørene ut er åpne.	Alle 3 porter er åpne.	3 m/s	4°C
A2	Dører inne i leiligheten lukket, 1 dør ut er åpne.	Alle 3 porter er åpne.	4 m/s	7°C
A3	Alle dører og vinduer lukket.	Alle 3 porter er åpne.	4 m/s	8°C
B1	Alle dører lukket, vindu soverom er åpent.	Alle 3 porter er åpne.	3 m/s	6°C
B2	Alle dører og vinduer er lukket.	Alle 3 porter er åpne.	3 m/s	6°C



## Vedlegg E – Data fra forsøk

### E-1 Første forsøksserie

Testnummer	Start måleutstyr	Tidspunkt for antennelse	Tid til alarm (sek)					Klokkeslett for alarm					
			Aspirasjonsenhet		Optisk detektor			Multikriterie-detektor		Multicriteria Detector (Aspiration)		Aspirasjonsenhet	
			Foralarm(Sek)	Alarm(sek)	Alarm(Sek)	Alarm(Sek)	Alarm(Sek)	Alarm(Sek)	Foralarm	Alarm	Alarm	Alarm	Alarm
Trepinner (ulmebrann)													
101.1	11:36:00	11:37:00	229	245	280	342	N/A	N/A	11:40:49	11:41:05	11:41:40	11:42:42	N/A
101.2	12:23:00	12:24:00	165	174	270	279	N/A	N/A	12:26:45	12:26:54	12:28:30	12:28:39	N/A
101.3	15:25:00	15:23:00	175	183	227	262	N/A	N/A	15:28:55	15:29:03	15:29:47	15:30:22	N/A
101.4	10:59:00	11:00:00	146	152	195	197	240	N/A	11:02:26	11:02:32	11:03:15	11:03:17	11:04:20
101.5	13:40:00	13:41:00	29	39	26	41	N/A	N/A	13:01:29	13:01:39	13:01:26	13:01:41	N/A
101.6	15:40:00	15:40:53	234	252	253	253	387	N/A	15:43:54	15:44:12	14:44:13	15:44:13	15:46:27
Bomull (ulmebrann)													
102.1	14:08:00	14:17:00	5	37	206	598	N/A	N/A	14:17:05	14:17:37	14:20:26	14:26:58	N/A
102.2	13:47:03	13:49:35	162	218	568	542	N/A	N/A	13:52:17	13:53:13	13:59:48	13:58:37	N/A
102.3	11:30:00	11:30:55	45	54	377	929	1755	N/A	11:31:40	11:31:49	11:37:22	11:46:34	12:00:20
102.4	14:44:00	14:45:15	33	43	80	49	N/A	N/A	14:45:48	14:45:58	14:46:03	14:46:35	N/A
Brennende skumplast													
103.1	11:10:00	11:11:14	72	83	83	86	N/A	N/A	11:12:26	11:12:37	11:12:37	11:12:40	N/A
103.2	14:44:00	14:45:04	130	136	156	156	N/A	N/A	14:46:14	14:46:20	14:46:40	14:46:40	N/A
103.3	09:46:00	09:50:00	61	70	115	120	N/A	N/A	09:51:01	09:51:10	09:51:55	09:52:00	N/A
103.4	10:44:00	10:45:00	68	73	81	138	N/A	N/A	10:46:08	10:46:13	10:46:21	10:47:18	N/A
Heptan væskebrann													
104.1	15:29:00	03:33:53	33	39	35	33	N/A	N/A	15:34:26	15:34:32	15:34:28	15:34:26	N/A
104.2	09:38:00	09:41:00	28	41	63	113	N/A	N/A	09:41:28	09:41:41	09:42:03	09:42:53	N/A
104.3	13:40:00	14:43:05	25	40	46	81	N/A	N/A	13:43:30	13:43:45	13:43:51	13:44:26	N/A
104.4	12:28:00	12:29:00	30	40	49	65	N/A	N/A	12:29:30	12:29:40	12:30:05	12:29:49	N/A

### E-2 Andre forsøksserie

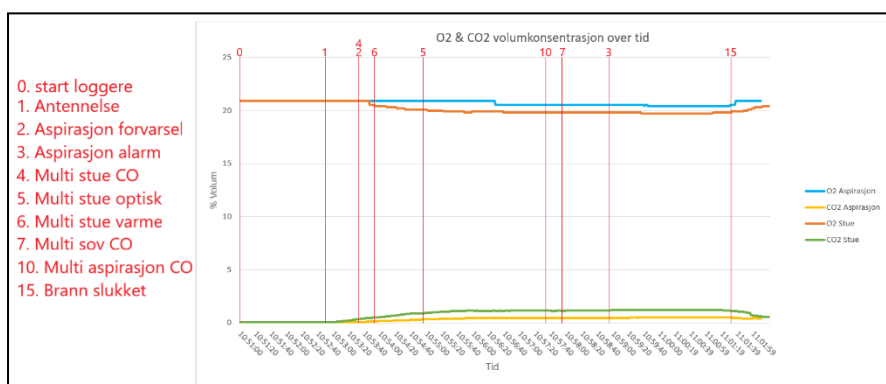
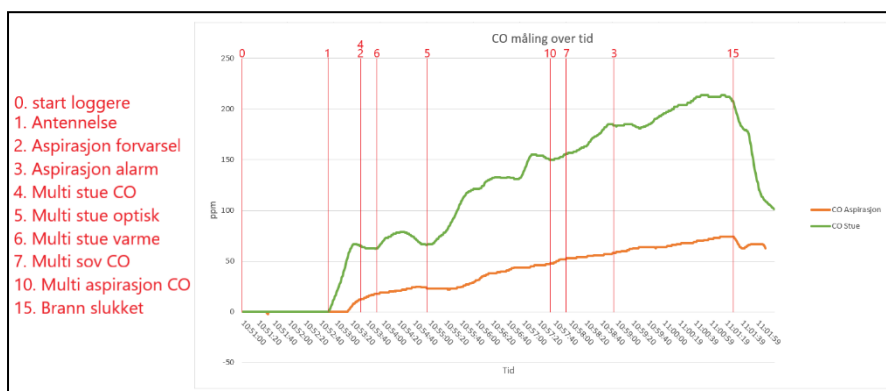
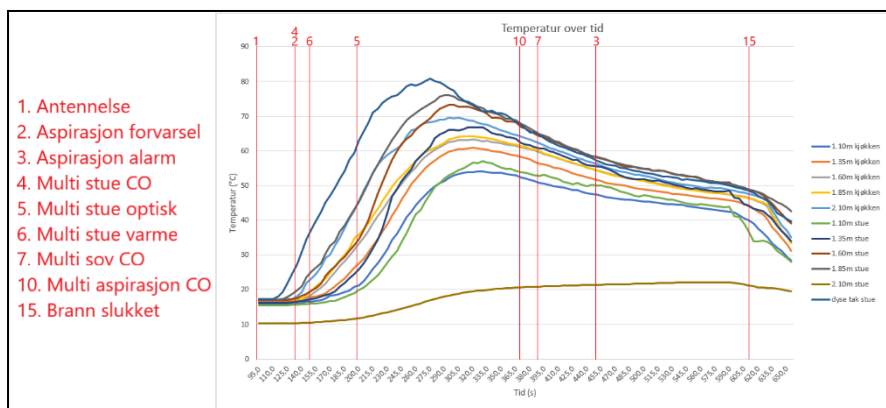
Testnummer	Start måleutstyr	Antennelses-tidspunkt	Aspirasjons enheten		Optisk detektor	Multikriteriedetektorer					Utløsning gass	
			Foralarm	Alarm		Optisk aspirasjon	CO aspirasjon	Varme aspirasjon	Optisk stue	CO stue		Varme stue
Stuebrann (Scenario A)					Alarm							Tid etter antennelse
A_T	10:51:00	10:52:37	00:42	06:07	00:38	-	04:42	-	02:08	00:42	01:02	N/A
A_T2	12:55:00	12:55:33	01:31	07:17	01:09	08:50	08:20	-	01:48	01:13	02:24	N/A
A_T3	14:10:00	14:16:43	00:31	00:44	00:44	06:11	01:24	-	00:39	00:49	02:30	N/A
A_T4	14:31:00	14:32:45	08:08	09:28	09:20	-	16:59	-	09:49	09:49	10:09	N/A
A_V	11:11:00	11:14:30	01:24	01:35	01:35	-	04:31	-	04:16	01:24	-	N/A
A_V2	14:11:00	14:12:40	00:40	00:52	00:41	-	01:23	-	-	-	-	01:23
A_1	12:01:00	12:04:30	00:44	01:56	01:51	-	03:31	-	04:03	Utkoblet	01:07	03:31
A_2	14:11:00	14:14:05	00:57	01:28	01:19	08:48	02:50	-	01:22	Utkoblet	01:22	02:50
A_3	15:24:00	15:25:40	00:45	00:55	00:52	05:13	03:06	-	00:43	Utkoblet	01:19	03:06
A_4G	16:05:00	16:12:55	01:52	02:17	01:49	-	03:27	-	03:52	Utkoblet	-	03:54
Boveromsbrann (Scenario B)												
B_T	10:59:00	11:00:20	10:24	10:58	10:29	23:03	22:32	-	11:53	12:08	20:52	N/A
B_T2	12:42:00	12:42:45	03:53	04:06	03:46	05:35	-	-	03:50	03:50	03:50	N/A
B_V	12:48:00	12:52:24	07:30	11:13	11:14	-	14:25	-	11:24	11:34	11:54	N/A
B_1	11:13:00	11:33:15	04:33	04:50	05:11	-	08:19	-	05:04	Utkoblet	06:04	08:19
B_2	13:30:00	13:34:28	05:53	07:12	06:17	13:00	11:14	-	07:48	Utkoblet	09:04	11:14
Sigarforsøk	10:11:00	10:11:40	00:38	06:42	06:22	-	-	-	-	-	-	N/A

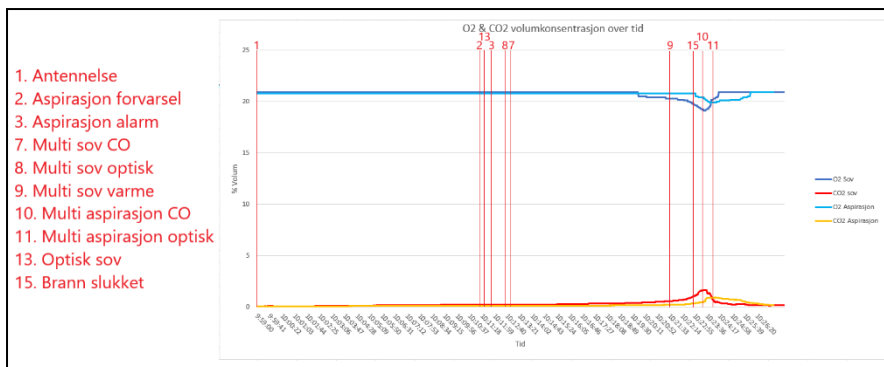
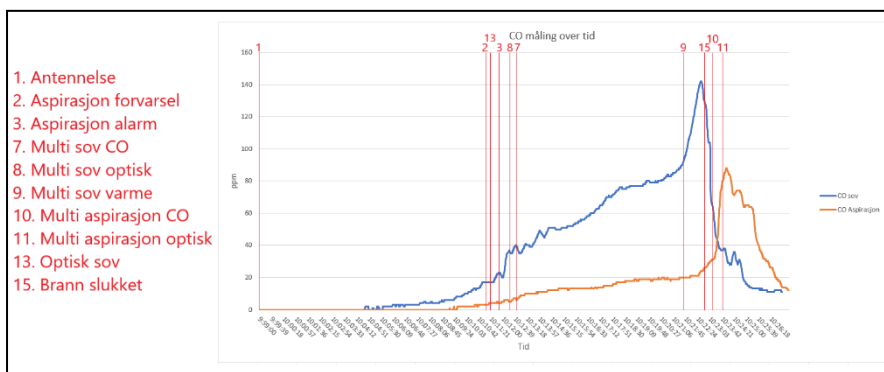
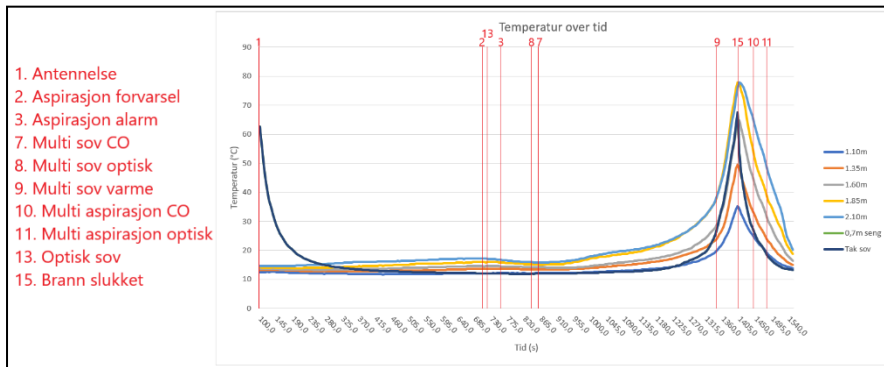
## Vedlegg F - Grafisk fremstilling første forsøksserie

Forsøk uten IG-541 slokkegass og ventilasjon

Forsøkene gjennomført uten ventilasjon og slokkegass for å anskaffe data for å fastsette kriterier for utløsning av slokkegass.

Scenario A - 301-T (stue)

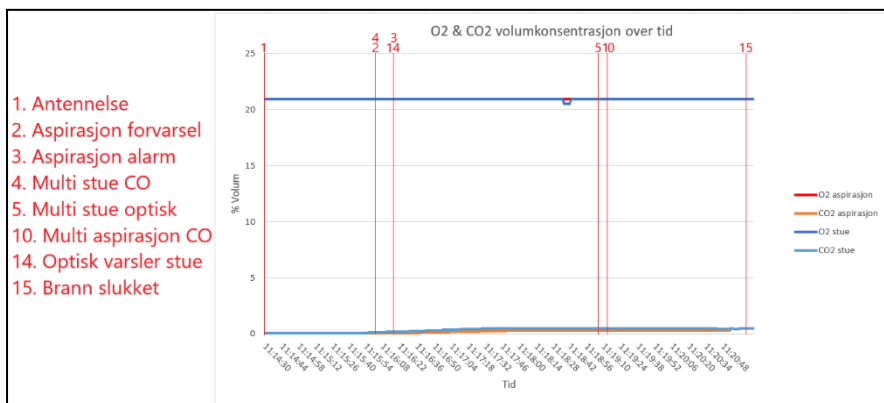
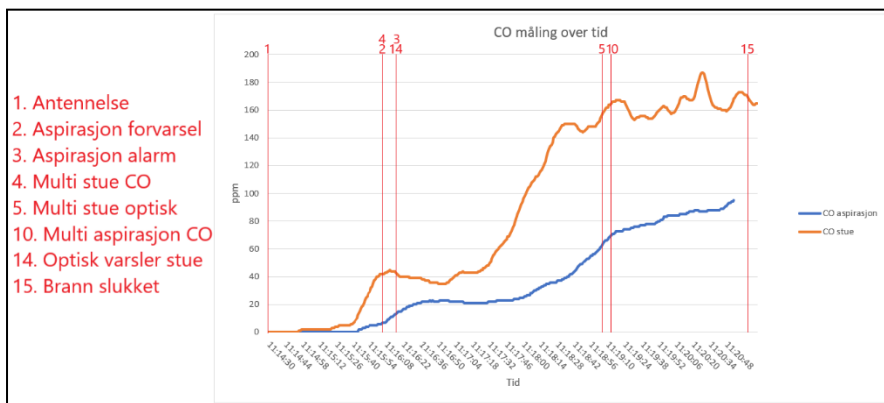
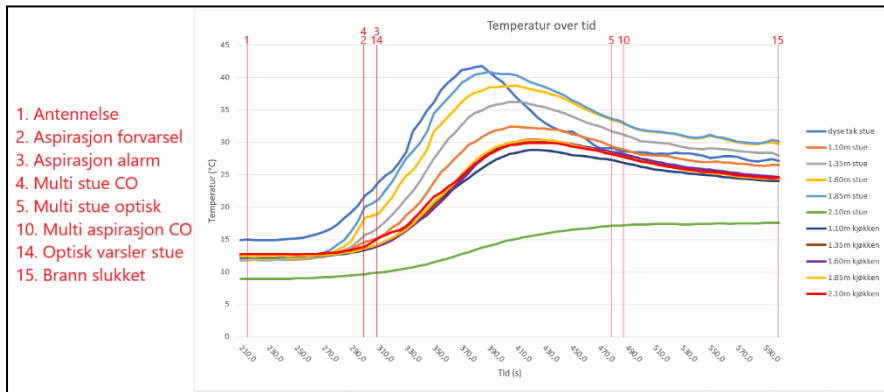




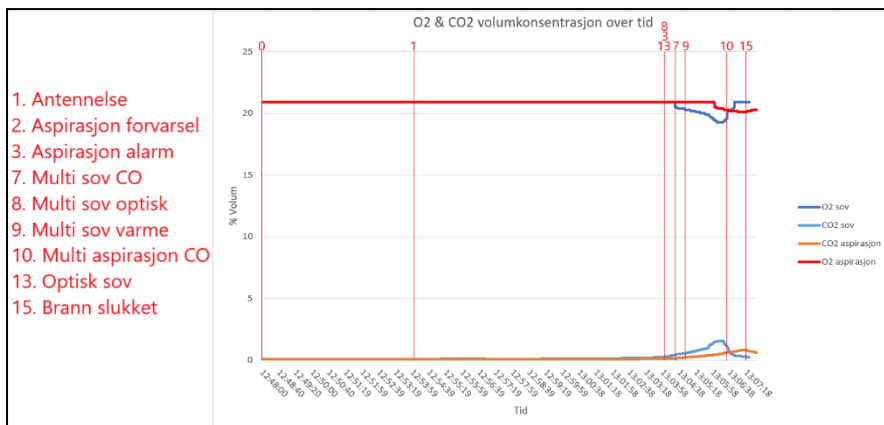
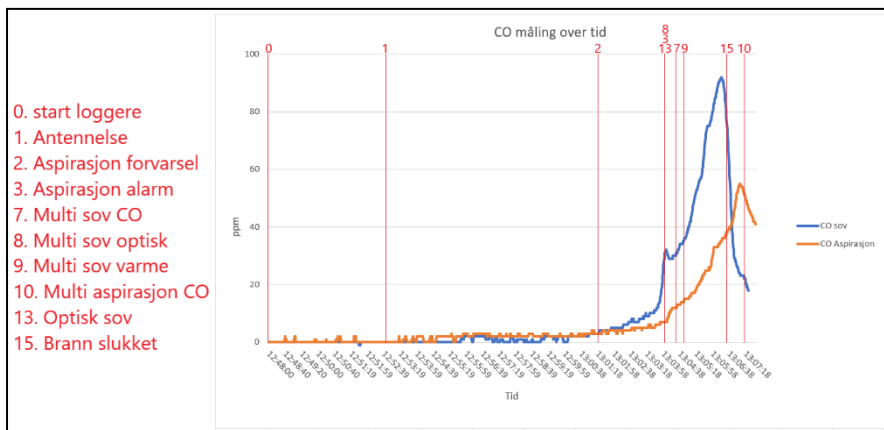
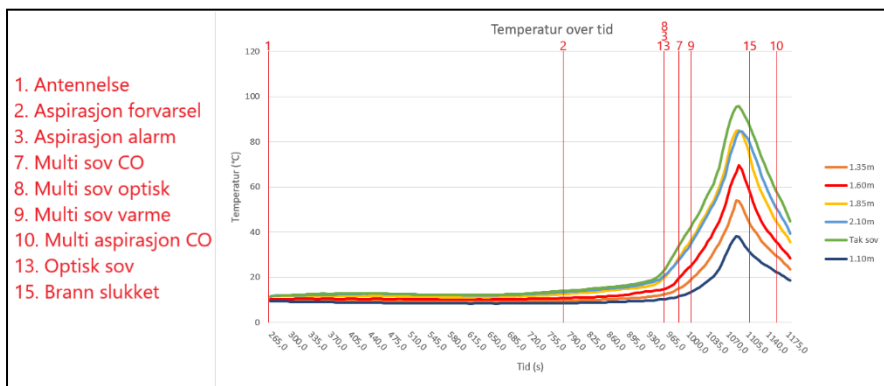
Forsøk uten IG-541 slokkegass og med ventilasjon

Forsøkene gjennomført med ventilasjon på gjennom hele forsøkene, for å se hvordan ventilasjonsanlegget påvirker nivåer av varme, CO og røyk.

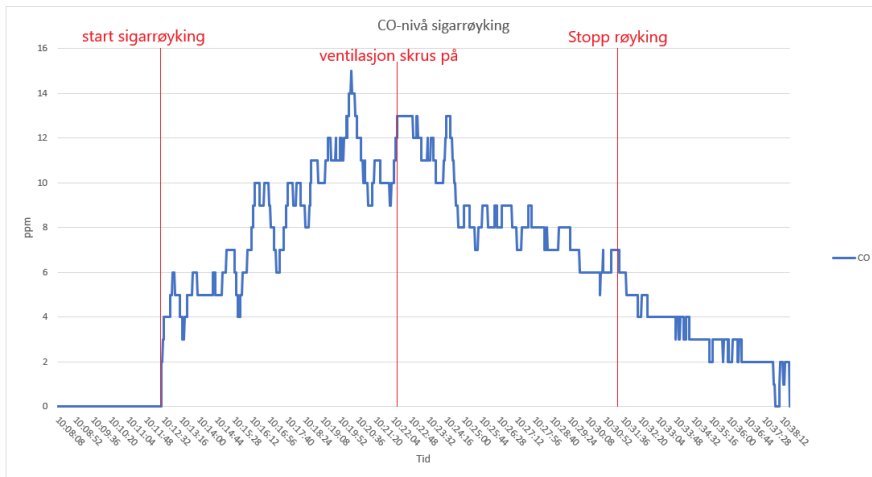
Scenario A - 301-V (stue)



Scenario B - 302-V (soverom)



Scenario C - 303 (sigarrøyking soverom – CO nivå i aspirasjon)



## Vedlegg G - Oversikt over termoelementer

	Kanal (Ch.)		
	Slot1	Slot2	
Beskrivelse	Tårn Soverom	Tårn Kjøkken	Tårn Stue
1.10m	Ch. 1	Ch. 11	Ch. 6
1.35m	Ch. 2	Ch. 12	Ch. 7
1.60m	Ch. 3	Ch. 13	Ch. 8
1.85m	Ch. 4	Ch. 14	Ch. 9
2.10m	Ch. 5	Ch. 15	Ch. 10
Dyse stue (tak)		Ch. 1	
Deteksjon stue (tak)		Ch. 2	
Sengehøyde (0.70 m)	Ch. 6		
Tak soverom	Ch. 8		
Ext. 1	Ch. 11		
Ext. 2	Ch. 12		
Ext. 3	Ch. 13		