



# Høgskulen på Vestlandet

## Bacheloroppgave Brannteknikk

ING3037

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	30-04-2018 19:55	<b>Termin:</b>	2018 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	09-05-2018 12:00	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
<b>SIS-kode:</b>	203 ING3037 1 PRO-1 2018 VÅR		
<b>Intern sensor:</b>	(Anonymisert)		

### Deltaker

<b>Navn:</b>	Christian Jelle Sylte
<b>Kandidatnr.:</b>	2
<b>HVL-id:</b>	138504@hvl.no

### Informasjon fra deltaker

<b>Tittel *:</b>	Bannbekjempelse i hulrom med bruk av INERGEN		
<b>Tro- og loverklæring *:</b>	Ja	<b>Inneholder besvarelsen konfidensiell materiale?:</b>	Nei
<b>Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *:</b>	Ja		

### Gruppe

<b>Gruppenavn:</b>	Gruppe B01
<b>Gruppenummer:</b>	3
<b>Andre medlemmer i gruppen:</b>	Sindre Fosnes, Nicolai Vølkers Kønskou Hansen

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min \*

Ja

## Brannbekjempelse i hulrom med bruk av INERGEN



Bachelorprosjekt utført ved  
Høgskolen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

---

*Brann*

Av:	Nicolai Vølkers Kønsvold Hansen	<i>Kand.nr.</i>	13
	Sindre Fosnes	<i>Kand.nr.</i>	20
	Christian Jelle Sylte	<i>Kand nr.</i>	2

---

*Haugesund*

*Våren 2018*



# BACHELORPROSJEKT

**Studenten(e)s navn:** Christian Jelle Sylte  
Nicolai Vølkers Kønsvov Hansen  
Sindre Fosnes

**Linje & studieretning** Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet

**Oppgavens tittel:** Brannbekjempelse i hulrom med bruk av INERGEN

## Oppgavetekst:

Brann i skjult hulrom har i flere tilfeller vært en utfordring for brannvesen fordi de er vanskelige å lokalisere, samt at de ofte medfører store skader i forbindelse med brannvesenets innsats. Spesielt i eldre byggverk, som ikke er bygget etter moderne regelverk, vil det være mange ulike hulrom – ofte fylt med brannbare materialer.

INERGEN er en inert slokkegass som har til hensikt å slokke brannen i en tidlig fase, ved å fortrengte oksygen. Slokkegass spres i tre dimensjoner og dermed antas det at INERGEN vil ha inntrengningsevne i lekkasjeåpninger i konstruksjoner og videre bidra til å kontrollere/slokke en brann i hulrom. Det antas på bakgrunn av denne egenskapen at gasslokkeanlegg vil ha bedre slokkeeffekt på brann i hulrom enn andre typer automatiske brannslukkeanlegg.

Oppgaven har til formål å undersøke om et brannslukkeanlegg med INERGEN vil ha tilstrekkelig slokkeeffekt i hulrom. Oppgaven baseres på praktiske forsøk der det undersøkes hvilken effekt et utløst INERGEN-anlegg i primærom har på tilstøtende hulrom, ved ulike lekkasjeareal i konstruksjonen. Det skal utføres varme og kalde fullskala-forsøk i et forsøksrom oppført som bindingsverk med dimensjoner tilsvarende et ISO 9705-rom, med hulrom i vegg og himling. I tillegg gjennomføres kvalitativ kartlegging av og litteraturstudie om utforming av hulrom i eldre byggverk og hulromsbranner.


**Endelig oppgave gitt:** 2. mars 2018

**Innleveringsfrist:** Onsdag 9.mai 2018 kl. 12.00

**Intern veileder:** Kristian Grimstvedt

**Ekstern veileder:** Kristian Hox, RISE Fire Research AS

**Adresse ekstern veileder:** Tillerbruvegen 202, 7092 Tiller

**Godkjent av  
studieansvarlig:** 

**Dato:**

18/9-18

Oppgavens tittel		Rapportnummer
<i>Brannbekjempelse i hulrom med bruk av INERGEN</i>		<i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av		
Christian Jelle Sylte Nicolai Vølkers Kønskov Hansen Sindre Fosnes		
Linje	Studieretning	
Sikkerhet, Brannteknikk	Ingeniør	
Gradering	Innlevert dato	Veiledere
Åpen	09.05.18	Kristian Grimstvedt Kristian Hox

**Ekstrakt**

Branner i skjulte hulrom er et problem for brannvesenet fordi de er vanskelige å lokalisere og slokke. Eldre bygg er ofte i dårlig brannteknisk tilstand og inneholder normalt mange hulrom i konstruksjonene. Dersom bygget eller interiør utgjør uerstattelig kulturhistorisk verdi, vil det være stort fokus på materiell verdisikring og sårbarheten for brann- og vannskader.

Formålet med denne oppgaven er å undersøke om et brannsløkkeanlegg med INERGEN-gass (IG-541) vil ha slokkeeffekt i hulrom. Oppgaven besvarer dette ved en litteraturstudie og praktiske fullskala-forsøk.

Det konkluderes at INERGEN har effekt på brann i hulrom, men at gassen kun vil slokke flammebrann, ikke ulmebrann. Faktorer som lekkasjetall og -konfigurasjon har betydning for slokkeeffekten. Resultatene viser at INERGEN kan være gunstig til beskyttelse av eldre verneverdige bygninger fordi slokkekassen reduserer skader i forbindelse med brann og slokkeinnsats.

## Forord

Oppgaven er siste leddet i en treårig bachelorgrad innen brannteknikk ved Høgskulen på Vestlandet, campus Haugesund. Oppgaven utgjør 20 studiepoeng og består av en teknisk rapport, samt plakat, presentasjon og produkt. I forbindelse med hjelp og veiledning til bacheloroppgaven ønsker vi å gi følgende personer en velfortjent oppmerksomhet:

- **Arjen Kraaijeveld**

Takk for gode idéer og innspill til oppgaven, samt for alle timene du la ned i å hjelpe og tilrettelegge for oss i brannhallen!

- **Veiledere Kristian Grimstvedt og Kristian Hox**

Takk for god og konstruktiv veiledning under hele prosessen!

- **Audun Wiik i Awiico AS**

Takk for hjelpen i forbindelse med trykktesting av forsøkskonstruksjonen!

- **Jan Hantho og Jørn Karlsen i Fire Eater A/S**

Takk for alle midler, kunnskap og innspill dere har bidratt med!

- **Alle observatører som bidro under forsøkene som ble utført i brannhallen**

Mari Aarland, Mariell Berg, Øivinn Melle, Alina Bondarenko, Malin Danielsen og Victor Rech. Takk for hjelpen med utførelsen av forsøkene!

- **Sølvi Elin Fausk, Daglig leder i Byggmax Haugesund**

Takk for gode priser og god hjelp under innkjøp av nødvendig utstyr og materialer!

- **Tobias Rød**

Takk for lånet av bil, som ble brukt til og fra brannhallen på ResQ!

- **Torger Stødle**

Takk for lånet av bil og verktøy, samt for at vi fikk utføre befaring på adressen din!

- **Rune Johnsen**

Takk for gode råd og innspill til hjelp med utvelgelse av forsøksoppsett, samt for muligheten du gav oss til å utføre befaring på Fosen!

- **Tor Arne Ulsund Hansen i Aibel AS**

Takk for lånet av oksygenmålere i forbindelse med forsøkene!

- **Anja Kristoffersen**

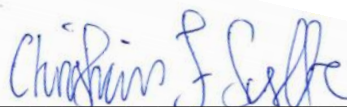
Takk for hjelp med korrekturlesing av rapporten, for din deltagelse på forsøkene i brannhallen og for lånet av bil!



Haugesund, 09.05.2018



Sindre Fosnes



Christian J. Sylte



Nicolai V. K. Hansen

## Innhold

Forord .....	iv
Innhold .....	v
Figurliste.....	viii
Bideliste.....	ix
Tabell-liste.....	ix
Ord- og begrepsforklaringer.....	xi
Sammendrag.....	xiii
Summary .....	xiv
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål og problemstilling .....	2
1.2.1 Begrensninger og antagelser .....	2
1.2.2 Hypoteser .....	3
1.3 Tidligere arbeid.....	3
2 Teori .....	4
2.1 Byggeskikk .....	4
2.1.1 Byggemåter .....	4
2.1.2 Konstruksjoner og hulrom.....	6
2.1.3 Vern av bygninger.....	7
2.2 Brannteori .....	8
2.2.1 Brannfirkanten.....	8
2.2.2 Branntyper.....	10
2.2.3 Brann i trehus .....	11
2.3 Automatiske brannslukkeanlegg.....	14
2.3.1 Generelt .....	14
2.3.2 INERGEN .....	14
2.3.3 Andre slokkesystemer .....	17
3 Metode for litteraturstudie og kvalitativ kartlegging .....	19
4 Litteraturstudie og kvalitativ kartlegging .....	20
4.1 Statistikk .....	20
4.1.1 Statistikk mottatt fra DSB .....	20
4.1.2 Elektrisk branner og brannrisiko .....	23

4.2	Hulrommet brenner.....	23
4.2.1	Brannsikringsplan.....	23
4.2.2	Kartlegging av hulrom .....	24
4.2.3	Spredningsfaren.....	24
4.2.4	Oppgradering til dagens krav .....	25
4.2.5	Automatiske brannsløkkeanlegg .....	25
4.3	INERGEN i verneverdige bygninger .....	25
4.4	Kvalitativ kartlegging .....	26
4.4.1	Intervju .....	26
4.4.2	Befaringer.....	29
5	Metode for oppbygning og utførelse av forsøk.....	32
5.1	Beskrivelse av forsøkskonstruksjonen og -oppsett.....	32
5.1.1	Forsøkskonstruksjonen.....	32
5.1.2	Oppsett av INERGEN-anlegg .....	35
5.1.3	Utstyr og måleinstrumenter .....	35
5.1.4	Oppsett kalde forsøk.....	36
5.1.5	Oppsett varme forsøk .....	37
5.2	Utførelse av forsøk .....	39
5.2.1	Differansetrykkmetode .....	39
5.2.2	Kalde forsøk .....	39
5.2.3	Varme forsøk.....	40
5.3	Bakgrunn og begrunnelser for valg av forsøksoppsett og utførelse .....	41
5.3.1	Begrensninger i forbindelse med forsøksoppsett og utførelse .....	42
6	Forsøksresultater .....	44
6.1	Resultater for kalde forsøk .....	44
6.1.1	Lekkasjescenario 1 .....	44
6.1.2	Lekkasjescenario 2 .....	46
6.1.3	Lekkasjescenario 3 .....	48
6.1.4	Lekkasjescenario 4 .....	49
6.1.5	Lekkasjescenario 5 .....	51
6.1.6	Lekkasjescenario 6 .....	52
6.1.7	Trykkøkning i primærrom.....	54
6.2	Varme forsøk .....	55



6.2.1	Røykdeteksjon og utløsning av INERGEN-anlegg.....	55
6.2.2	Referansebrann.....	55
6.2.3	Lekkasjescenario 2.....	56
6.2.4	Lekkasjescenario 3.....	57
6.2.5	Massetap.....	60
7	Diskusjon.....	63
7.1	Resultatdrøfting.....	63
7.1.1	Sammenligning av lekkasjescenarioer kalde forsøk.....	63
7.1.2	Sammenligning av lekkasjescenarioer varme forsøk.....	67
7.1.3	Usikkerheter og validering av resultater.....	70
7.1.4	Vurdering av varme forsøk.....	72
7.2	Diskusjon av forsøksoppsett.....	73
7.2.1	Forsøkskonstruksjon.....	73
7.2.2	Branntype.....	74
7.2.3	Feilkilder.....	74
7.3	INERGEN sammenlignet med andre slokkeanlegg.....	76
7.3.1	Sammenligning av slokkeeffekt.....	76
7.3.2	Pålitelighet og personsikkerhet til slokkeanlegg.....	77
7.3.3	Vurdering av slokkeanlegg.....	77
7.4	Oppsummering av hypoteser mot funn.....	78
7.5	Videre arbeid.....	79
8	Konklusjon.....	80
9	Bibliografi.....	81
	Vedlegg.....	I
	Vedlegg A.....	I
	Vedlegg B.....	VII
	Vedlegg C.....	XIX
	Vedlegg D.....	XXII
	Vedlegg E.....	XXV
	Vedlegg F.....	XXVII
	Vedlegg G.....	XXXII

## Figurliste

Figur 1 Eksempel på oppbygging av laftede vegger [23].	4
Figur 2 Eksempel på vegg utført i reisverk [25]	5
Figur 3 Konstruksjon utført i lett bindingsverk [27]	5
Figur 4 Eksempel på oppbygging av stubbloft [28].	6
Figur 5 Brannfirkanten illustrert på to alternative måter [36]	8
Figur 6 Faseoverganger [36]	9
Figur 7 Brennbarhetsgrenser og økt temperatur [36]	10
Figur 8 Brennbarhetsgrenser og økt trykk [36]	10
Figur 9 De fire fasene i en rombrann [36].	12
Figur 10 Eksempel på korrekt utførelse av pipe mot brannbar vegg og etasjeskille. Bilder hentet fra Byggforskdatablad 752.135 [48].	14
Figur 11 Illustrasjon og beskrivelse av simpelt INERGEN-anlegg med én flaske [38]	15
Figur 12 Bygningens hovedfunksjon, statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017.	20
Figur 13 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017.	21
Figur 14 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017.	21
Figur 15 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017	22
Figur 16 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017	22
Figur 17 Forsøkskonstruksjonen	32
Figur 18 Oversikt over oksygenmålere i forsøkskonstruksjonen	37
Figur 19 Oppsett av forsøk med brann i trespon	38
Figur 20 Lekkasje scenario 1, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 1 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)	45
Figur 21 Lekkasje scenario 1, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 2 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)	45
Figur 22 Lekkasje scenario 2, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 5 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)	47
Figur 23 Lekkasje scenario 3, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 3 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)	48
Figur 24 Lekkasje scenario 4, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 4 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)	50
Figur 25 Lekkasje scenario 5, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 6 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)	51
Figur 26 Lekkasje scenario 6, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 7 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)	53
Figur 27 Trykkøkning i primærrom ved utløst slokkeanlegg	54
Figur 28 Referansebrann, temperaturmålinger for brann i det fri	56
Figur 29 Temperaturmålinger for lekkasje scenario 2, forsøk 12	57

Figur 30	Temperaturmålinger for lekkasjeszenario 2, forsøk 13 .....	57
Figur 31	Temperaturmålinger for lekkasjeszenario 3, forsøk 14 .....	58
Figur 32	Temperaturmålinger for lekkasjeszenario 3, forsøk 15 .....	59
Figur 33	Temperaturmålinger for lekkasjeszenario 5, forsøk 17 .....	60
Figur 34	Temperaturmålinger for lekkasjeszenario 5, forsøk 18 .....	60
Figur 35	Sammenheng mellom lekkasjetall og tid med sløkkekonsentrasjon .....	65
Figur 36	Sammenheng mellom lekkasjeszenarioer for tid med sløkkekonsentrasjon og lekkasjetall i etasjeskillet.....	66
Figur 37	Sammenligning av temperatur over brensel på tvers av lekkasjeszenario .....	68
Figur 38	Sammenligning av temperatur i brensel på tvers av lekkasjeszenario .....	69
Figur 39	Sammenheng mellom lekkasjeareal og -tall.....	72

## Bildeliste

Bilde 1	Bjelkelag utført med golvbord og himlingspanel .....	29
Bilde 2	Innvendig panel påfôret ved utlekting på tømmerkasse .....	30
Bilde 3	Ytterkledning på tømmerkasse plassert direkte på grunnmur .....	30
Bilde 4	Gjennomføring av elektriske installasjoner i vegg. På den annen side av veggen er ledningen trukket i lukket hulrom under kledning .....	31
Bilde 5	Pipe utført i halv teglstein mot brennbar konstruksjon.....	31
Bilde 6	Utside av langvegg med gipsplate i midten.....	33
Bilde 7	Kasse for varme forsøk.....	33
Bilde 8	Oversikt over fordelingen av lekkasjehull.....	33
Bilde 9	Avstand mellom rader i vegg og etasjeskillet.....	34
Bilde 10	Oversikt over INERGEN-anlegget.....	35
Bilde 11	Oppsettet med trespon .....	38
Bilde 12	Bilde av forsøk 17 etter gjennomført forsøk .....	62
Bilde 13	Bilder av forsøk 18 etter gjennomført forsøk .....	62

## Tabell-liste

Tabell 1	Ulike isolasjonsmaterialer og tidsperioder der disse er benyttet [29] .....	6
Tabell 2	Lekkasjeszenarioer med tilhørende konfigurasjon av lekkasjearealer.....	34
Tabell 3	Avstand mellom rader i vegg og etasjeskillet .....	34
Tabell 4	Plassering av oksygenmålere .....	37
Tabell 5	Plassering av termoelementer til forsøk med brann i trespon .....	38
Tabell 6	Lekkasjetall for ulike lekkasjeszenarioer .....	39
Tabell 7	Oversikt over varme forsøk.....	40
Tabell 8	Data for lekkasjeszenario 1 .....	44
Tabell 9	Resultater for lekkasjeszenario 1, forsøk 1 og 2. (V: vegg, H: himling, P: primærrom) .....	46
Tabell 10	Data for lekkasjeszenario 2 .....	46
Tabell 11	Resultater for lekkasjeszenario 2, forsøk 5. (V: vegg, H: himling, P: primærrom). .....	47

Tabell 12 Data for lekkasjescenario 3 .....	48
Tabell 13 Resultater for lekkasjescenario 3, forsøk 3. (V: vegg, H: himling, P: primærrom). 49	
Tabell 14 Data for lekkasjescenario 4 .....	49
Tabell 15 Resultater for lekkasjescenario 4, forsøk 4. (V: vegg, H: himling, P: primærrom). 50	
Tabell 16 Data for lekkasjescenario 5 .....	51
Tabell 17 Resultater for lekkasjescenario 5, forsøk 6. (V: vegg, H: himling, P: primærrom). 52	
Tabell 18 Data for lekkasjescenario 6 .....	52
Tabell 19 Resultater for lekkasjescenario 6, forsøk 7. (V: vegg, H: himling, P: primærrom). 53	
Tabell 20 Maksimal trykkøkning i primærrom ved utløst sløkkeanlegg .....	54
Tabell 21 Oversikt over varme forsøk.....	55
Tabell 22 Data for Lekkasjescenario 2, varme forsøk .....	56
Tabell 23 Data for Lekkasjescenario 3, varme forsøk .....	57
Tabell 24 Data for Lekkasjescenario 5, varme forsøk .....	59
Tabell 25 Massetap av trespon og stearin .....	61

## Ord- og begrepsforklaringer

Ord/begreper	Betydning/definisjon
Aggregattilstand	"Stoffer har tre aggregattilstander eller faser: fast fase, væskefase og gassfase." [1]
Arnested	Stedet der brannen startet. [2]
Branncelle	"Hel eller avgrenset del av byggverk hvor en brann fritt kan utvikle seg uten å spre seg til andre bygninger eller deler av byggverket i løpet av en fastsatt tid." [3]
Brannseksjon	"Del av en større bygning skilt med seksjoneringsvegg(er) på en slik måte at en brann ikke vil spre seg utover brannseksjonen den startet, med forutsatt innsats fra brannvesenet." [4]
Designkonsentrasjon	Designkonsentrasjon er i denne oppgaven definert som den oksygenkonsentrasjonen som fremkommer av å multiplisere den nødvendige slokkekonsentrasjonen med en sikkerhetsfaktor. Den oppgis i antall volumprosent oksygen av det totale volum som skal beskyttes.
Flaskebank	Flaskebank er en betegnelse på en samling av trykkflasker med slokkegass med formål å beskytte et avgrenset område.
Inertgass	Inertgass er ikke-reagerende gass. Utrykket brukes om gass som tilsettes i prosesser for å hindre en reaksjon, eller om gasser som er til stede uten selv å reagere. [5]
Innsatstid	Innsatstid er tiden fra varsel om brann er mottatt til brannvesenet begynner slokke- eller redningsinnsats. Denne tiden er normalt satt til å være 10 minutter.
Himling	Himling sikter i denne oppgaven til taket i forsøkskonstruksjonen. Ordet etasjeskiller også brukt om samme bygningsdel.
Holdetid	Holdetid er i denne oppgaven definert som tiden fra hele utløsningsvolumet har oppnådd designkonsentrasjon, til oksygenkonsentrasjonen i volumet har steget med 15 % av designkonsentrasjonen.
Hulrom	Hulrom er i denne oppgaven definert som det tomrommet som finnes i forskjellige bygningskonstruksjoner. Det kan være hulrom mellom forskjellige lag av materialer i tak, vegger og etasjeskiller. Det vanligste hulrommet som finnes er mellom stendere og bjelker. Slike hulrom blir i nyere bygg ofte isolert med for eksempel mineralull-matter/plater.
kJ	Kilojoule svarer til 1000 joule, som er en SI-enhet for energi og kan defineres som: "Den energien som kreves for å produsere en watt i løpet av ett sekund." [6]

Lekkasjekonfigurasjon	Lekkasjekonfigurasjon er i denne oppgaven definert som kombinasjonen av lekkasjearealer inn og ut av hulrom.
Lekkasjescenario	Lekkasjescenario blir i denne oppgaven brukt om et oppsett av lekkasjekonfigurasjon og har et tilknyttet lekkasjetall, som er uavhengig av konfigurasjonen.
Lekkasjetall	Enheten for lekkasjetall er luftskift per time [luftskift/time]. Det beskriver hvor mange ganger volumet med luft – i bygget eller rommet som testes – skiftes ut gjennom lekkasjeåpninger til utsiden av bygget/rommet. [7]
Lysbue	"Lysende elektrisk utladning med høy temperatur over en spalte mellom elektrisk ledende materialer." [8]
Mostandsoppvarming	Motstandsoppvarming er, sammen med lysbue, en av de viktigste elektriske brannårsakene. Motstandsoppvarming kan skje som følge av overbelastning, lekkasjestrøm og jordfeil, overspenning eller spenningsstøt, dårlig kontaktforbindelse eller for mye kabelisolasjon. [9]
O <sub>2</sub>	Betegnelse på oksygen.
Pa	Betegnelse for enheten Pascal, som er en avledet SI-enhet for trykk. [10]
Primærrom	Primærrom er i denne oppgaven definert som det rommet der det er installert dyse(r) som sprer slokkegass ut i volumet. Et annet ord som blir brukt om primærrom er utløsningsvolum.
Pyrolyse	Pyrolyse er i forbrenningslitteratur definert som en spaltningsprosess som skjer uten oksygen tilstede. I brannlitteratur benyttes derimot begrepet om en spaltningsprosess der det er oksygen tilstede.
Sekundærskade	Skade i forbindelse med slokke- eller redningsinnsats – ofte i form av vannskader eller hulltaking.
Slokkekonsentrasjon	Slokkekonsentrasjon er brukt om den oksygenkonstriksjonen der brann i de fleste materialer slokkes. I denne oppgaven defineres den til 15 vol% oksygen.
Sprinklerhode	Sprinklerhoder er endepunktene i et sprinkleranlegg. De har til formål å spre vannet i dråpeform utover det arealet de skal beskytte. For vanntåkeanlegg blir ordet dyse brukt om tilsvarende komponent.
Stubbloft	Stubbloft er lag av tynne bord eller plater som legges mellom lekter som er montert i gulvbjelkene. Stubbloft har som funksjon å bære isolasjon og eventuelt vindsperre. [11] [12]
TEK 17	Byggteknisk forskrift fra år 2017.
Tetraeder	Et tetraeder er et geometrisk legeme som er begrenset av fire trekanter. Tetraeder er en alminnelig krystallform. [13]
VTEK 17	Veiledning til Byggteknisk forskrift fra år 2017.

## Sammen drag

Branner i skjulte hulrom er et problem for brannvesenet fordi de er vanskelige å lokalisere og slokke, noe som medfører store sekundærskader. Eldre byggverk er ofte sårbare mot brann grunnet generell dårlig brannteknisk tilstand og mange skjulte hulrom i konstruksjonen. Noen av disse byggene har uerstattelig kulturhistorisk verdi, og er sårbare for brann- og vannskader.

Formålet med denne oppgaven er å undersøke om et brannsløkkeanlegg med INERGEN-gass (IG-541) vil ha slokkeeffekt i hulrom. Dette blir besvart gjennom en litteraturstudie og praktiske fullskala-forsøk. Hulrom er definert som tomrom i vegg, etasjeskiller og tak.

Litteraturstudien og den kvalitative kartleggingen ble gjennomført for å avdekke størrelse og plassering av hulrom, samt belyse omfanget av brannproblematikken knyttet til hulrom i eldre byggverk. Her fremkom det at det ikke er en universell utforming av hulrom, grunnet forskjeller i forbindelse med ombygging og modernisering. Typiske plasseringer av hulrom er bak ytterkledning og påfôret innervegg, i bjelkelag og stubbloft. Elektrisk materiell og føringer, samt rørføringer fra peis er typiske tenkilder i hulrom. Branntekniske utfordringer med hulrom blir av flere brannvesen knyttet til spredning, lokalisering og slokking. Disse funnene ble lagt til grunn for forsøksoppsettet.

De praktiske forsøkene ble utført i et forsøksrom med dimensjoner tilsvarende et ISO 9705-rom, med hulrom i vegg og etasjeskiller. Det ble utført forsøk med og uten brann, der effekten til INERGEN-anlegget ble undersøkt. I forsøk uten brann ble tiden med oksygenkonsentrasjon under 15 vol% undersøkt ved å loggføre oksygenkonsentrasjonen etter utløst sløkkeanlegg. I forsøk med brann ble effekten av sløkkeanlegget på flamme- og ulmebrann undersøkt ved å sammenligne temperaturutviklingen for forsøk med og uten utløst sløkkeanlegg. Forsøkene ble utført ved lekkasjetall i intervallet 11-32 luftskift per time, sammen med varierende lekkasjearealer ut og inn til hulrommene.

Det konkluderes at et sløkkeanlegg med INERGEN-gass har effekt på brann i hulrom, men at gassen kun vil slokke flammebrann, ikke ulmebrann. I vegg-hulrommet avhenger tid med sløkkekonsentrasjon primært av forholdet mellom lekkasjearealer, men forsøkene med brann avdekket at sløkkeeffekten ikke i like stor grad var avhengig av dette forholdet. I etasjeskillet var tid med sløkkekonsentrasjon hovedsakelig avhengig av lekkasjetall. Resultatene viser at INERGEN kan være gunstig til beskyttelse av eldre verneverdige bygninger fordi sløkkegassen reduserer materielle skader i forbindelse med brann og brannvesenets innsats.

For å kunne kartlegge begrensningene til INERGEN-anlegg vil det være nødvendig å videre teste oppsett med hulromsfyll, brennbare konstruksjoner, samt med ytre påvirkninger fra vind.

## Summary

Fire fighters often have problems locating and extinguish fires in hidden cavities, which leads to great secondary damages. Because of the poor conditions regarding fire safety and many hidden constructural cavities, older buildings are vulnerable to fire. Some of these buildings have an irreplaceable cultural value and are therefore vulnerable to fire and water damage.

The purpose of this bachelor's thesis is to determine if a gas-based fire protection system with INERGEN (IG-541) will influence fires in cavities. This will be answered by performing a literary study, qualitative survey and practical full-scale tests. Cavities are defined as empty spaces inside walls, ceilings and between floors.

The purpose of the literary study and the qualitative survey was to reveal size and placement of cavities, furthermore clarify the scope of the problems related to cavities in older buildings. The findings indicated that there is no universal design of cavities because of differences in methods of reconstruction and modernization. Cavities are normally located behind exterior cladding and fitted walls, and between floors. The most common sources of ignition in connection with cavities are electrical components and cables, as well as chimney ducts. Fire fighters mentions localization of fire in addition to fire spread and suppression as challenges related to hidden cavities. These findings made up the basis of the test set-up.

The practical tests were conducted in a test room equal to an ISO 9705-room, with cavities in walls and ceiling. The effect of the fire protection system with INERGEN was tested in experiments with and without fire. In the tests without fire the oxygen-level were monitored. In the tests with fire the temperature development was monitored. This was used to determine the suppression effect by comparing tests with and without activated fire protection system. Different parameters were changed between tests. The leakage number varied between 11-32 air changes per hour, because of varying leakage-areas in and out of the cavities.

The findings in this thesis suggest that INERGEN is effective on fire in cavities. The gas will be effective in suppressing flaming fires but have a lesser effect on smouldering fires. The time with suppression concentration in the wall cavity is dependent of the ratio between leakage areas in and out of the cavity. However, the tests with fire indicates that this ratio is of a lesser importance. In the ceiling-cavity the time with suppression concentration was mainly dependent of the number of air changes per hour. The test results indicate that a fire protection system with INERGEN can be beneficial when protecting old listed buildings, because it will reduce the material damages in relation to fire and firefighting measures.

It is necessary to further investigate the limitations of the INERGEN-protection system in respect to cavity insulation, combustible construction materials and impacts from wind.



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Branner i hulrom kan være utfordrende for brannvesenet da slike branner er vanskelige å lokalisere, samt at de kan spres raskt sammenlignet med andre branner. En annen problemstilling med slike branner er at de ofte medfører store skader i forbindelse med brannvesenets innsats. Problemstillingene bekreftes i en rekke medieartikler.

Vaktkommandør Sigbjørn Villanger sier følgende om brannen i en 100 år gammel trevilla på Bønes: *"Det er en bolig med mye hulrom og kaldloft, så det er en stor jobb å få oversikten"* [14].

Om en annen brann i et trehus i Skostredet forteller brannkonstablene følgende: *"Huset er gammelt med mange hulrom som gjorde at slukkingen var krevende."* [15]

Om brannen i Ringve Museum forteller fagleder Robert Olsson følgende: *"Brannen viste seg etter hvert å sitte hovedsakelig mellom tømmervegg og panel, noe som krevde mye riving av panel. Brannen satte seg også noe i bjelkelaget mellom første og andre etasje."* [16]

Eldre byggverk er ofte sårbare mot brann grunnet en generelt dårligere brannteknisk tilstand sammenlignet med nyere bygg. Slike bygg har ofte mange skjulte hulrom i konstruksjonen, noe som vil øke brannrisikoen [17]. I noen av disse byggverkene har selve bygget eller interiør uerstattelig kulturhistorisk verdi, og det vil derfor være et stort fokus på materiell verdisikring. Et effektivt brannsløkkeanlegg kan være en løsning i slike bygg, fordi det kan redusere skadeomfanget i forbindelse med brann.

Det finnes ingen vannbaserte brannsløkkeanlegg som er designet spesifikt for brannbekjempelse i skjulte hulrom, siden vann i liten grad vil trenge inn i konstruksjonene. Skal hulrommene beskyttes av vannbaserte sløkkesystemer må det installeres sprinklerhoder eller dyser i de aktuelle områdene. Slike inngrep kan ofte være uønsket grunnet økonomiske, praktiske og arkitektoniske årsaker<sup>1</sup>. Betydningen av valgt sløkkeanlegg, og følgelig sløkkemiddel, er i tillegg meget viktig – sett i sammenheng med faren for sekundærskader ved utløst brannsløkkeanlegg.

Automatiske brannsløkkeanlegg med INERGEN (IG-541) har blitt godkjent av Riksantikvaren for bruk i verneverdige bygninger. Et eksempel på verneverdige bygg som beskyttes med INERGEN er Fossesholm Herregård [18]. Et slikt valg av brannsløkkeanlegg baseres i hovedsak på sikring av materielle verdier, fordi denne type bygninger kan være svært sårbare med tanke på sekundærskader fra vannbaserte brannsløkkeanlegg.

---

<sup>1</sup> Det finnes likevel myndighetskrav som omfatter beskyttelse av hulrom. NS-EN 12845 krever at skjulte hulrom med høyde større enn 0,8 meter skal sprinklerbeskyttes [62].

Det er interessant å undersøke om automatiske brannsløkkeanlegg basert på INERGEN kan være en løsning for beskyttelse av hulrom. Siden gassen spres i alle retninger kan det antas at den trenger inn i hulrom gjennom lekkasjeåpninger i konstruksjonen. For at en brann skal kunne slokkes eller kontrolleres, kreves det at en viss mengde slokkegass opprettholdes over tid. Dette kriteriet avhenger av hvordan lekkasjearealet er fordelt i konstruksjonene som omslutter hulrommet, siden gasskonsentrasjonen kan være sårbar for gjennomtrekk og luftutskiftninger.

Eldre byggverk vil som regel også ha større lekkasje enn nyere byggverk. Det er derfor interessant å undersøke hvilken effekt INERGEN vil ha på rom med store lekkasjer, samt om gassen vil trenge inn i hulrom og samtidig ha slokkeeffekt.

## **1.2 Formål og problemstilling**

Oppgaven har til formål å undersøke om et brannsløkkeanlegg med INERGEN vil ha slokkeeffekt i hulrom. Oppgaven baseres på praktiske forsøk der det undersøkes hvilken effekt et utløst INERGEN-anlegg i primærrom har på tilstøtende hulrom, ved ulike lekkasjeareal i konstruksjonen. Det er utført varme og kalde fullskala-forsøk, henholdsvis med og uten brann, i et forsøksrom med hulrom i vegg og himling.

I tillegg er det gjennomført en litteraturstudie og kvalitativ kartlegging som har som formål å danne et grunnlag for de praktiske forsøkene, samt belyse omfanget av brannproblematikken knyttet til hulrom i eldre byggverk.

### **1.2.1 Begrensninger og antagelser**

Oppgaven er begrenset til å fokusere på eldre byggverk, hovedsakelig fra perioden mellom 1850 og 1950. En følge av denne avgrensningen vil være at det ikke er introdusert fuktsperre av plast i konstruksjonene. I nyere bygg der det er fuktsperre, antas det at slokkegass har liten inntrengningsevne inn til hulrommene.

Med hulrom menes det i denne oppgaven tomrom som finnes i forskjellige bygningskonstruksjoner. Det kan være hulrom mellom forskjellige sjikt av materialer i tak, vegger og etasjeskiller. Noen av de vanligste hulrom som finnes er mellom stendere og bjelker. Slike hulrom blir i nyere bygg ofte isolert med mineralull i form av plater eller rull. I eldre byggverk kan det potensielt være mange skjulte hulrom, ofte fylt med brennbare materialer.

Oppgaven er avgrenset til å omfatte hulrom, hovedsakelig i innvendige konstruksjoner, fordi det antas at slokkegass vil ha liten effekt i hulrom der volumet blir utsatt for hyppigere utskiftninger av luft. Hulrom bak luftet ytterkledning eller i forbindelse med takkonstruksjon er problemområder som dermed ikke blir fokusert på i denne oppgaven.

Denne oppgaven vil ha hovedfokus på materiell verdisikring, mens temaene personsikkerhet og deteksjon ikke vil vurderes.

Oppgavens omfang er begrenset av tilgjengelig tid og ressurser, og det er derfor gjort en del forenklinger av forsøksoppsettet og selve forsøkskonstruksjonen. Disse begrensningene er i tillegg

gjort for å kunne utføre flere forsøk med tanke på verifikasjon av resultatene, samt at de er valgt med hensyn til etterprøvbarehet. Forenklingene er videre beskrevet i kapittel 5 *Metode for oppbygning og utførelse av forsøk*.

### 1.2.2 Hypoteser

Det er utarbeidet følgende hypoteser til forsøksresultatene:

1. Ved høye lekkasjetall<sup>2</sup> vil ikke holdetid i primærrommet tilfredsstillende kravet på 10 minutter.
2. Tiden med slokkekonsentrasjon i primærrom vil være lengre enn for vegghulrom, som igjen antas å ha lengre tid med slokkekonsentrasjon enn hulrom i etasjeskillet.
3. INERGEN kan bidra til å slokke brann i hulrom, selv der det ikke er installert dyser.
4. INERGEN vil slokke flammebrann i hulrom, men har mindre effekt på ulmebrann.

### 1.3 Tidligere arbeid

Det finnes et begrenset utvalg av tidligere arbeider som omfatter problematikken rundt brann i hulrom og hvordan slokkeanlegg kan brukes til beskyttelse av hulrom. De viktigste arbeidene som ligger til grunn for denne oppgaven er masteroppgaven *Hulrommet brenner – men kan brannvesenet slokke brannen?* [17] og bacheloroppgaven *INERGEN i verneverdige bygninger* [19]. Disse arbeidene vil videre bli omtalt under kapittel 4 *Litteraturstudie og kvalitativ kartlegging*. Under presenteres to andre arbeider som danner utgangspunktet for denne oppgaven:

- **Forskningsrapporten "Slokkemetoder med lite vann"** [20]

SP Fire Research samarbeidet med DSB i et prosjekt der effekten til forskjellige slokkeverktøy i forbindelse med brannbekjempelse i hulrom ble undersøkt. Slokkeverktøyene ble testet i en testkonstruksjon på en etasje samt loft. Det fantes totalt tre hulrom i konstruksjonen – ett mellom kledning og massiv vegg, ett mellom massiv vegg og innfôret vegg av OSB-plater og ett i loftet. Det konkluderes med at skjærslokke, CAFS og slokkespiker er godt egnet til å slokke brann i hulrom. Forskningsrapporten har vært benyttet som inspirasjon til oppbygging av forsøkskonstruksjon i denne oppgaven.

- **Bacheloroppgaven "Brannbekjempelse med vanntåke i verneverdige bygninger"** [21]

Bacheloroppgaven er skrevet i samarbeid med Riksantikvaren og har til hensikt å undersøke slokkeeffekten i hulrom bak utvendig kledning med vanntåkeanlegg. Det ble utført tester med forskjellig brannbelastning i hulrom. Det ble forventet at vanntåke ble trukket inn via luftespaltene til hulrommet med luftstrømmer, for så å oppnå slokkeeffekt der. Det tydet heller på at vanntåken blokkerte oksygentilførselen inn til hulrommene, noe som dermed bidro til å kvele brannen. Videre konkluderes det med at denne kvelende effekten ikke vil kunne oppstå ved sterkere luftstrømmer. Resultatene viste også at slokkeeffekten var avhengig av tidlig deteksjon

---

<sup>2</sup> Høye lekkasjetall er definert som lekkasjetall over 20 luftskift per time, se kapittel 5.3 *Bakgrunn og begrunnelser for valg av forsøksoppsett og utførelse*.

## 2 Teori

Dette kapitlet vil gi en innføring i begreper og teorier som er relevant for oppgavens tema. Teoridelen omfatter en innføring i byggeskikk, grunnleggende brannteori og en beskrivelse av ulike automatiske slokkesystemer.

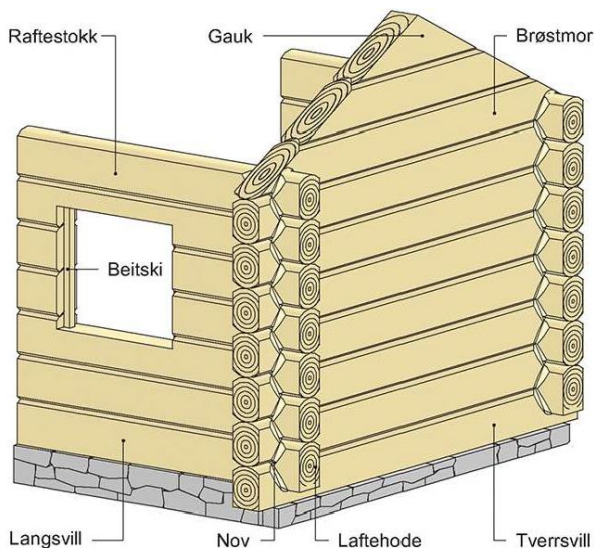
### 2.1 Byggeskikk

Begrepet byggeskikk dekker over tradisjoner som omfatter hvordan hus er oppført og brukt. Byggeskikk kan relateres til fellestrekk i byggemåter, materialvalg, arkitektur og praktisk utforming [22]. Byggeskikk er styrt av kultur, økonomi og i stor grad tilgangen på materialer.

#### 2.1.1 Byggemåter

##### 2.1.1.1 Lafteverk

Opp gjennom tiden har tre vært benyttet som det primære konstruksjonsmateriale. Norsk byggeskikk har tradisjoner tilbake til vikingtiden, der laftede bygg ble benyttet. Fra vikingetida og fram til 1900-tallet har lafteverk vært den mest benyttede konstruksjonen i bygg beregnet for beboelse. Et eksempel på lafteverk kan ses i Figur 1.

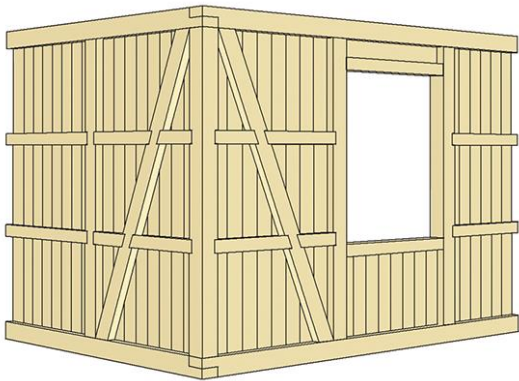


Figur 1 Eksempel på oppbygging av laftede vegger [23].

Fra 1700-tallet ble det i større byer og ved kysten vanlig å kle laftede bygg med panel utvendig, og i noen tilfeller innvendig. Kledningen hadde til hensikt å gi bedre beskyttelse mot ytre påvirkning, samtidig som det var mulig å benytte lavere kvalitet på laftetømmeret [24]. Laftede bygg er ofte bygget i høy kvalitet, for å minimere glipper mellom tømmeret når det tørker. Det vil i de fleste tilfeller være utettheter siden det vil være bevegelser i treet som danner glipper, dette fordi tre er et naturmateriale som krymper og utvides i takt med årstidene.

##### 2.1.1.2 Reisverk

Reisverk er en konstruksjonsmåte bestående av stolper og sviller, der mellomrom et utfyllt med loddrette planker [25]. Figur 2 viser eksempel på oppbygning av vegg i reisverk.

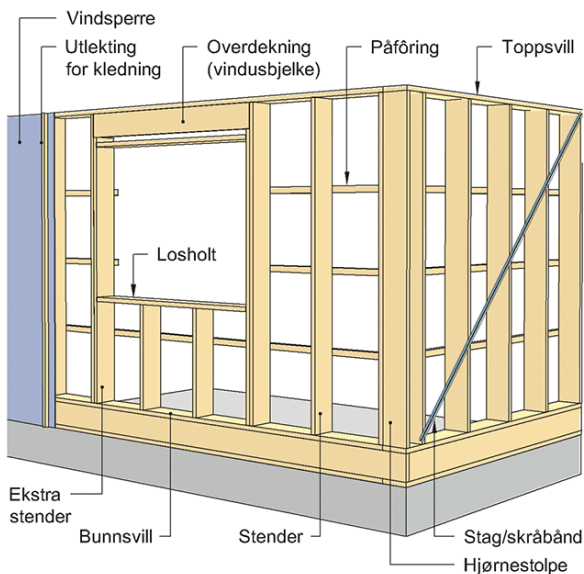


Figur 2 Eksempel på vegg utført i reisverk [25]

Reisverk kan dateres tilbake til 1700-tallet, men spesielt i perioden fra 1850 til 1920 ble reisverk mye benyttet i småhus [24]. Reisverk er materialbesparende og krymper ikke i samme grad som lafteverk. En ulempe er at reisverk ikke er like tett som lafteverk når treverket tørker, derfor ble reisverk først populært til boligbygg da vindpapp ble tilgjengelig omkring 1870. Fra omkring 1920 ble det mindre vanlig å benytte reisverk og bindingsverk ble den mest benyttede konstruksjon [24].

### 2.1.1.3 Bindingsverk

Definisjonen på bindingsverk er rammekonstruksjoner utført med stendere, topp- og bunnsvill, spikerslag og skråbånd [26]. Bindingsverket kan være kledd på inn- og utside, og hulrommene mellom stendere kan helt eller delvis fylt med isolasjon. Eldre bindingsverk er ofte utført i tømmer med store dimensjoner, men fra midten av 1900-tallet ble lett bindingsverk den vanligste konstruksjon, og er fortsatt den mest benyttede konstruksjonsformen for mindre bygg i Norge. Bindingsverk er tømmerbesparende, og i kombinasjon med isolasjonsmateriale og kledning er det mulig å oppfylle dagens krav til tetthet og varmeisolasjon [24]. Eksempel på konstruksjon i lett bindingsverk er illustrert i Figur 3.



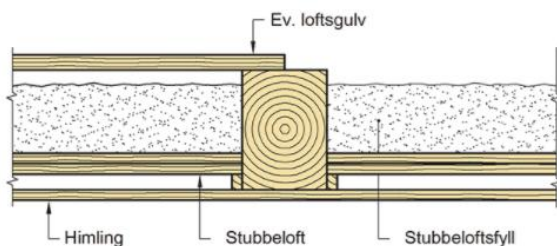
Figur 3 Konstruksjon utført i lett bindingsverk [27]

## 2.1.2 Konstruksjoner og hulrom

Det finnes hulrom i alle bygg, men spesielt i eldre bygg kan det være mange hulrom. I forbindelse med ombygg, påbygg eller renovering kan det bli flere hulrom som ikke er synlige. Noen av de vanligste hulrom er bak ytterkledning, i etasjeskiller og takkonstruksjoner, samt i innervegger [24].

### 2.1.2.1 Etasjeskiller

Frem til slutten av 1800-tallet var det vanlig med simple etasjeskiller bestående av bjelkelag med golvbord og i noen tilfeller kledd himling. Senere ble etasjeskiller utført som stubbloft, se Figur 4. Stubbloft består av bord, holdt oppe av lekter som er festet i bjelkelaget. Det er isolert med ulike typer isolasjon, som oftest leire [12].



Figur 4 Eksempel på oppbygging av stubbloft [28].

Allerede fra 1827 ble det i Kristiania (Oslo) stilt krav til stubbloft med leirefyll i øverste bjelkelag, som en barriere mot brann. Omkring 1900 ble det innført krav til stubbloft i alle etasjeskiller i de større byer, og med bygningsloven av 1924 kom kravet til å gjelde hele landet. Av branntekniske, lydtekniske og økonomiske årsaker var leirefyll frem til 1950-tallet det vanligste isolasjonsmateriale i stubbloft. Det har også blitt benyttet andre isolasjonsmaterialer som sagflis, høvelspon, hakket halm, knust tegl, og koksgrus [28].

### 2.1.2.2 Vegger

Eldre bygg er ofte blitt renoveret og oppgradert etter hvert som nye materialer er utviklet og levestandarden har økt. Hvilke hulrom som finnes i vegger avhenger av typen konstruksjon, byggeår og hvilke oppgraderinger som er gjort [29]. Tidligere var det normalt å bygge nytt utenpå gamle konstruksjoner. Dette medførte at det ble dannet nye hulrom, samt at materialer fra ulike perioder ble introdusert i konstruksjonene. Tabell 1 viser ulike isolasjons- og tettematerialer med tilhørende tidsperiode for når de var vanlig å benytte.

Tabell 1 Ulike isolasjonsmaterialer og tidsperioder der disse er benyttet [29]

Materiale	Brukt ca. år
Uimpregnert veggpapp	1880-
Impregnert veggpapp	1890-
Ullpapp og cellulosepapp	1880-1940
Reflekspapp	1940-1960
Husmose	Alltid
Stubbloftleire	-1950
Koksgrus	1840-1950

Sagflis og kutterspon	-1950
Filtmatter, kokosfiber og husfredsmatter	1900-1950
Sydde mineralullmatter	1935-
Korkplater	1905-1955
Treullplater	1930-1955
Halimplater	1930-1960
Porøse fiberplater	1932-1960
Glassvatt	1935-1960
Steinull	1945-
Plast	Ca. 1960-

En viktig endring i byggemetode var overgangen fra lafteverk til reisverk og bindingsverk. Ved denne overgang ble det nødvendig med mer isolasjon og vindtetting, et eksempel på nye materialer er veggpapp som ble implementert fra omkring 1880. Den første veggappen besto av tjære, som var brannfarlig, den ble derfor erstattet med asfaltbasert impregnering. Fra omkring 1960 ble det benyttet dampspærre av plast i vegger, både i bygg fra denne tiden, og eldre bygg som ble renovert [29].

### 2.1.2.3 Lekkasje og differansetrykktest

Utettheter i konstruksjoner er lekkasjeveier for luft og gass. Slike lekkasjeveier finnes i alle typer byggverk, men fremkommer mer hyppig i eldre byggverk. Lekkasjeveier kan talfestest ved å utføre en differansetrykktest, også kjent som "Door Fan Test". Dette er en metode for å bestemme antall luftskift per time i ett eller flere rom. Metoden går ut på å montere en vifte i en døråpning for å skape både under- og overtrykk i rommet. Viften vil blåse luft inn i rommet for å skape et overtrykk, for så blåse luft ut av rommet for å skape et undertrykk. Målingene fra trykktestene bestemmer hvor stor lekkasje som finnes i rommet [30]. Disse resultatene angir hvor mange luftutskiftninger som skjer over rommets yttergrenser per time [7].

Teknisk forskrift § 14-3 [31] setter krav til at nybygde boligbygninger og fritidsboliger med laftede yttervegger skal ha et lekkasjetall mindre enn eller lik 6 luftutskiftninger per time. Erfaringstall viser at eldre småhus fra begynnelsen av 1900-tallet kan ha lekkasjetall på opp mot 15 luftutskiftninger per time [32].

### 2.1.3 Vern av bygninger

Beskyttelse av kulturminner er regulert i Lov om kulturminner [kulturminneloven], Lov om planlegging og byggesaksbehandling [plan- og bygningsloven], Lov om miljøvern på Svalbard [svalbardmiljøloven], Lov om den norske kirke [kirkeloven] og lov om forvaltning av naturens mangfold [naturmangfoldloven]. Riksantikvaren er direktorat for forvaltning av kulturminner, og er ansvarlig for at den statlige kulturminnepolitikken gjennomføres. I *stortingsmelding nr. 35 (2008-2009)* er det fastsatt en målsetning om å unngå tap kulturhistoriske verdier. [33] For å oppnå denne målsetning er det nødvendig med ambisiøse tiltak for å hindre at brann oppstår og spres i fredete, vernede og verneverdige bygg.

For kulturminner benyttes tre ulike begreper i forbindelse med vern – verneverdig/bevaringsverdig, vernet og fredet. Et verneverdig kulturminne er et kulturminne som har gjennomgått en kulturhistorisk vurdering og er identifisert som verneverdig [34]. Tittelen verneverdig kulturminne gir ikke noen formell beskyttelse, men verneverdige bygg som enten har en lokal, regional eller nasjonal verdi kan enten vernes eller fredes. Vernede kulturminner er regulert av kommunene via Plan- og bygningsloven eller andre relevante lover som Kirkeloven eller Naturmangfoldloven. Det er ikke lov å rive vernede bygg uten tillatelse, og kommunen kan stille krav i forbindelse med vedlikehold og renovering for å sikre historiske, arkitektoniske eller kulturelle verdier [35]. Fredete kulturminner har en nasjonal betydning og er underlagt den strengeste form for vern. Fredete kulturminner er regulert i kulturminneloven og inndeles i automatisk fredet - og vedtaksfredet kulturminne. Kulturminner som automatisk er fredet er:

- Faste kulturminner fra før reformasjonen (1537)
- Samiske faste kulturminner eldre enn 100 år
- Erklærte stående byggverk med opprinnelse fra perioden 1537-1649
- Faste og løse kulturminner på Svalbard fra før 1946

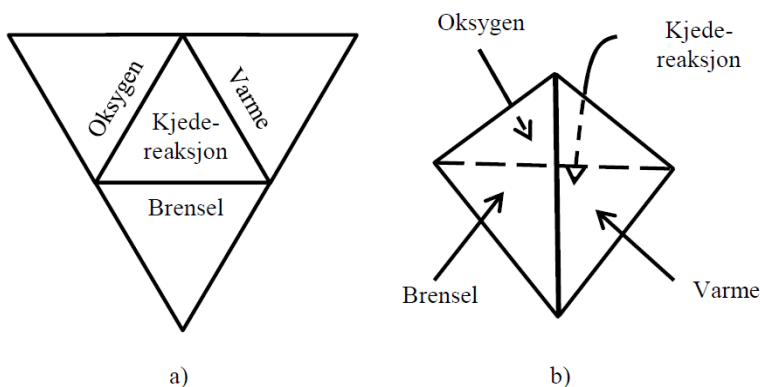
I tillegg til kulturminner som er automatisk fredet er det Riksantikvarens oppgave å utvelge hvilke bygg som skal fredes under kulturminneloven [34].

## 2.2 Brannteori

I dette delkapittelet vil det bli gitt en kort innføring i den mest grunnleggende brannteori som må forstås for å kunne lese denne oppgaven.

### 2.2.1 Brannfirkanten

En brann avhenger av fire elementer: tilstrekkelig brennbart materiale, oksygen, varme samt at det må foregå interne kjemiske kjedereaksjoner i forbrenningssonen. I disse kjedereaksjonene inngår frie radikaler, som er ioner, atomer og molekyler med ett eller flere frie elektroner [36]. De frie radikalene er meget reaktive og er av den grunn vitale i forbrenningsprosessen, men blir ikke selv forbrukt i prosessen [37]. Hvis en eller flere av de fire elementene i brannfirkanten fjernes eller svekkes tilstrekkelig, vil en brann slukkes. Forskjellige slukkemidler svekker ulike elementer – i hovedsak vil vann senke temperaturen, mens en slukkegass som INERGEN vil fortrenge oksygen [36]. Brannfirkanten er i Figur 5 alternativt presentert som tetraeder.

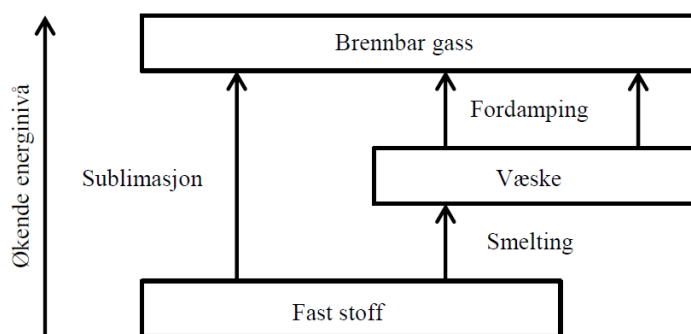


Figur 5 Brannfirkanten illustrert på to alternative måter [36]



### 2.2.1.1 Faseoverganger

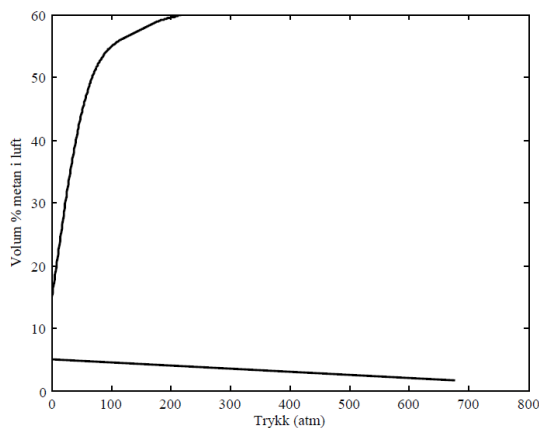
Energimengden som skal til for å antenne og opprettholde en brann er stoffavhengig. Det universelle i forbrenningsprosesser er at det er stoff i gassfasen som inngår i reaksjonene. Dette medfører at energi må brukes for å bryte ned kjemiske bindinger og omgjøre faste stoffer og væske til brennbare gasser, se Figur 6. Denne kjemiske spaltningsprosessen kalles pyrolyse. I noen stoffer skjer nedbrytningen trinnvis, ved at et fast stoff først går over til væske for så å bli omgjort til gass. I andre stoffer forekommer sublimasjon, som medfører at omgjøringen fra fast stoff til gass skjer direkte i ett steg. I trevirke skjer pyrolysen ved sublimasjon [36].



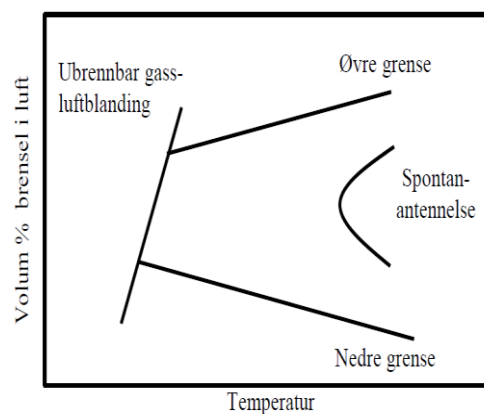
Figur 6 Faseoverganger [36]

### 2.2.1.2 Brennbarhetsgrenser

Pyrolysen bidrar med brennbar gass, men mengden gass samtidig ligge i brennbarhetsområdet, som er beskrevet med brennbarhetsgrenser. Disse grensen angir ytterpunkter for blandinger av brennbar gass og luft som kan brenne. Er blandingen for tynn vil det ikke være nok brensel for å oppnå forbrenning, i motsetning vil en for tykk blanding inneholde for mye gass til å kunne få en forbrenning. Brennbarhetsgrensene varierer fra stoff til stoff og er avhengig av gass-sammensetning, samt trykk og temperatur. Som vist i Figur 8 vil økt trykk gi økt øvre brennbarhetsgrense, men relativt uendret nedre brennbarhetsgrense. Økt temperatur vil heve den øvre, samt senke den nedre brennbarhetsgrensen [36] som vist i Figur 7. Formålet med INERGEN er å senke oksygeninnholdet i luften, slik at det ikke oppstår brennbare blandingsforhold mellom oksygen og brennbare gasser [38].



Figur 8 Brennbarhetsgrenser og økt trykk [36]



Figur 7 Brennbarhetsgrenser og økt temperatur [36]

## 2.2.2 Branntyper

### 2.2.2.1 Flammebrann

Det finnes to typer flammer: forblandet flamme og diffusjonsflamme. I forblandede flammer er oksygen blitt blandet med brensel før forbrenningssonen, dette vil gi en blålig flamme som har høy temperatur og avgir lite sotpartikler. Forblandede flammer oppstår vanligvis i forbindelse med sveising eller butanbrennere.

I diffusjonsflammer oppstår flammen i forbrenningssjiktet hvor oksygen og brensel blandes. Typiske kjennetegn på en diffusjonsflamme er en klar og gulaktig flamme. I tillegg har den en lavere flammetemperatur enn forblandet flamme, men har en høyere varmestråling på grunn av høyere sotproduksjon. Dette er den vanligste flammetypen, og er den som oftest observeres i forbindelse med brann i byggverk.

### 2.2.2.2 Ulmebrann

Ulmebrann er en saktegående forbrenning i porøse materialer uten flammer. Det er det mest krevende og vedvarende forbrenningsfenomenet som finnes. Til forskjell fra flammebranner, hvor faste materialer pyrolyserer og gassene forbrenner med oksygen, er ulming forbrenning mellom fast materiale og oksygen. Ulming skjer ved lave temperaturer mellom 450-700 °C og spres sakte gjennom materialet [39]. Ikke alle faste materialer kan ulme – de vanligste materialene er papir, torv, kull, bomull og sagflis.

Brannteknisk utgjør ulmebrann en utfordring med tanke på deteksjon grunnet den lave varmeutviklingen. Ulmebranner kan brenne i lang tid uten å bli oppdaget, i enkelte tilfeller i flere uker [40]. Grunnet at røyken fra ulmebranner ofte er kald vil det være mindre oppdrift i røyken, og den vil dermed kunne ligge i de nedre lagene der folk oppholder seg og skal rømme [36].

Ulmebranner antennes ofte av svake varmekilder, slik at det ikke vil være nok energi i varmekilden til at brannen kan utvikles direkte til en flammebrann. Overgangen kan likevel skje ved at ulmebrannen etter en tid har fått vokse tilstrekkelig, slik at den produserer nok energi til å gå over til en flammebrann. Overgangen fra ulmebrann til flammebrann er ikke klart definert, men det er ofte to mekanismer som må inntreffe samtidig. Den første mekanismen er en ulmefront med

produksjon av tilstrekkelig mengde brennbar gass og energirike glør, som forbrenner over det allerede forbrente materialet. Den andre mekanismen er en ekstern tennkilde som kan antenne de brennbare gassene som har blitt produsert av ulmingen. I tillegg forekommer det ulmebranner som spontant går over til flammebranner ved plutselig ventilasjonsendringer, der lufttilstrømningen øker. Når ulmebrannen får en økt tilstrømning med luft, øker også temperaturen i forbrenningssonen. Dermed vil sjansen for at ulmebrannen går over til flammebrann øke [41].

Ulmebrann kan være svært utfordrende å slokke. Eksperimenter med kull har vist at ulmebrann krever store mengder vann for å oppnå tilstrekkelig slokkeeffekt. Ofte er det behov for en til to liter vann for slokking av en kilo ulmende kull. Dessuten overlever ulmebranner ved oksygenkonsentrasjoner der flammebranner kveles. Flammebranner slukkes normalt ved oksygenkonsentrasjon rundt 16 vol%, mens ulmebranner til sammenligning vil kunne forekomme ved oksygenkonsentrasjon på 10 vol% [39]. Ulmebranner som er blitt kvelt kan blusse opp igjen. Ved utilstrekkelig nedkjøling vil ulmebrannen fortsette forbrenningen etter at oksygen har blitt gjeninnført til det ulmende materialet. Med grunnlag i at avkjølingsprosessen av et materiale normalt tar lang tid, vil kvelning av ulmebranner ta lengre tid enn kvelning av flammebranner. [39].

### **2.2.3 Brann i trehus**

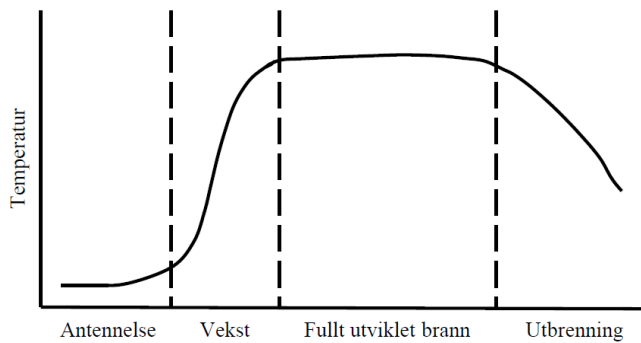
#### **2.2.3.1 Trevirke - branntekniske egenskaper**

I denne oppgaven er problemstillingen knyttet til eldre bebyggelse, der trevirke er det dominerende bygningsmateriale. Tre er brennbart og har stor utbredelse som bygningsmateriale, også i nyere bebyggelse. Dette medfører noen branntekniske utfordringer i forbindelse med dimensjonering og brennbarhetskrav.

Treverk har vanligvis mellom 5-15 % fuktinnhold, noe som bidrar positivt i et brannteknisk perspektiv siden det kreves en stor mengde energi for å fordampe vann (2250 kJ/kg vann). For at treverket skal kunne antenne må alt vannet være fordampet, slik at pyrolyseprosessen kan begynne. Pyrolyse skjer ved temperaturer mellom 200-250 °C [42]. Pyrolysen fortsetter fritt frem til treverket begynner å forkulle ved omtrentlig 300 °C. Dannelsen av kullet vil forsinke forbrenningsprosessen ved å fungere som et isolerende lag. Kullet har en lavere varmeledningsevne enn friskt treverk og vil dermed utsette temperaturpåvirkning, samt forsinke oksygeninntrengning inn til sonen med det friske treverket [43].

#### **2.2.3.2 Brann i rom**

En rombrann kan utvikles på ulike måter avhengig av de tilgjengelige forholdene. Generelt kan brannforløpet deles inn i fire faser – antennelsesfasen, vekstfasen, fullt utviklet brann og utbrenningsfasen [36]. Brannforløpet for en rombrann er presentert i Figur 9, med temperatur som funksjon av tid.



Figur 9 De fire fasene i en rombrann [36]

Antennelsesfasen er fasen der et stoff antenner enten med eller uten en ytre tennkilde. Eksempler på tennkilder er varme flater, åpne flammer, glør, lysbuer og mekaniske gnister, elektriske gnister eller gnister forårsaket av statisk elektrisitet. Antennelse uten tennkilde kan skje som spontanantennelse der en ytre strålingskilde gjør at stoffet oppnår spontan-antennelsestemperatur, eller som selvantennelse ved at stoffet produserer nok energi til å kunne selvantenne [36].

For å antenne en brennbar gass/luft-blanding kreves en minimum energimengde til å opprettholde forbrenning uten en ekstern energikilde. Antennelsesenergi og-temperatur er stoffavhengig, og er avhengig av aggregattilstanden til materialet. Fast stoff og væsker må omdannes til brennbar gass før de kan antenne og krever dermed mer energi enn stoff i gassfase. For at antennelse skal skje må oksygenkonsentrasjonen i en gass/luft-blanding være høyere enn nedre brennbarhetsgrense for det aktuelle stoffet [36]. Antennelsesenergien er forholdsvis lik for de fleste tennkilder, utenom for elektriske gnister. Elektriske gnister lager flyktig plasma, som inneholder mange atomer, frie radikaler og ioner. På grunn av viktigheten av frie radikaler vil elektriske gnister kunne antenne en gass/luft-blanding ved en mye lavere energimengde sammenlignet med andre tennkilder [41].

Det skilles mellom to typer rombranner, brenselsstyrt og ventilasjonsstyrt. I antennelses- og vekstfasen vil en brann være brenselsstyrt, med forutsetning av at det er tilstrekkelig tilgang på oksygen. Senere i brannforløpet vil brannen gå over til å være ventilasjonsstyrt. I den ventilasjonsstyrte brannen vil den maksimale branneffekten være avhengig av tilgangen på oksygen [36].

I brannrom vil det oppstå trykkforskjeller som følge av termisk ekspansjon av varme røykgasser og forskjell i tetthet mellom gasser og luft. Disse trykkforskjellene vil ha en påvirkning på røykspredning ut av, samt luftinntrengningen inn i rommet. For at røyk kan sive ut og luft kan trenge inn er det viktig med tilstrekkelige åpninger. Er rommet for tett vil brannen bli ventilasjonsstyrt og slokke hvis den ikke får tilgang på mer luft [36].

En brann kan spres videre i og ut ifra brannrommet ved tre forskjellige mekanismer – konduksjon, konveksjon og stråling. Konduksjon, eller ledning, kan skje i faste materialer og avhenger av varmeledningsmostanden i materialet. Konveksjon kan være flammer eller varm røyk som varmer opp materialer slik at de kan delta i forbrenningen. Varmestråling er elektromagnetiske bølger som vil være spesielt viktig i perioden når overtetting inntreffer. I en rombrann er dannelsen av et røyksjikt essensielt. Røyksjiktet vil varmes opp og stråle mot brenselet slik at brenselet avgir mer

brennbar gass. Det vil også være et strålingsbidrag fra flammene som virker ned på brenselet og bidrar til pyrolyse [36].

### **2.2.3.3 Brann i hulrom**

I trehus skjer brannspredning ofte ved at brennbare gasser trenger inn i hulrom via små åpninger før flammer og stråling har nådd konstruksjonen. Inne i hulrom er det ofte tørt og lett antennelige materialer [44].

Vanskelig sløkkeinnsats ved brannstart i hulrom eller spredning til hulrom er ofte en problemstilling brannvesenet opplever i forbindelse med bygningsbranner. Hulrom finnes i alle bygg, men vil ha størst skadepotensiale i trebygg, der tilgangen på brannbart materiale er størst [45]. Brann i skjulte hulrom i vegger og etasjeskiller kan være vanskelige å lokalisere, og oppdages ofte for sent, slik at brannen blir vanskeligere å kontrollere.

En hulromsbrann kan utvikles på ulike måter. Dersom de rette betingelser er tilstede kan brannen spres raskere enn en vanlig rombrann. Brann i hulrom under ytterkledning kan spres med 2-8 m/sek [45]. Den raske veksten kan skyldes utformingen av hulrom. Den relativt korte avstanden mellom sidene i hulrommet gjør at det er en konstant tilbakestråling mellom flatene. Oppdriftskrefter kan også akselerere et brannforløp ved at luft trekkes inn i konstruksjonsåpninger, mens varm røyk siver opp og ut av konstruksjonen [46]. Er brannen derimot underventilert kan brannen ligge og ulme i lang tid før den blusser opp, oppblussing skjer ved gjennombrenning eller når brannvesenet åpner konstruksjoner [45].

Tidligere var det vanlig å bygge nytt utenpå gammelt når det ble gjort renoveringer. Dette har ført til at det kan være flere hulrom i en konstruksjon. Der det er mange hulrom vil det være nødvendig å åpne opp konstruksjoner, for å slukke brannen [47].

### **2.2.3.4 Tennkilder**

Det finnes flere potensielle tennkilder i byggverk, men i dette delkapitlet fokuseres det kun på tennkilder som kan utgjøre en brannfare i hulrom.

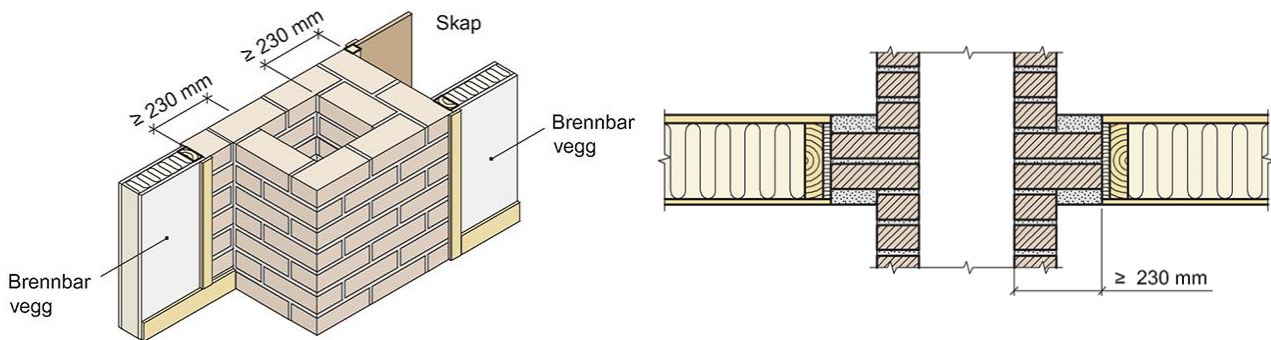
#### **2.2.3.4.1 Elektriske installasjoner**

For å antenne omkringliggende brennbare materialer må den elektriske energien gi en tilstrekkelig økning i temperatur lokalt i et anlegg. Fenomener som kan medføre energi i en slik størrelsesorden er lysbuer, motstandsoppvarming og ytre varmekilder [9].

I eldre bygg der det elektriske anlegget ikke er oppdatert, vil dette utgjøre en stor brannrisiko. Isolasjonen på gamle ledninger kan være i dårlig stand grunnet alder, varme eller mekanisk skade. Ofte oppfyller eldre anlegg ikke dagens forskriftskrav, samtidig som de er underdimensjonert for nåtidens energiforbruk, dette medfører en risiko for overbelastning [24].

#### **2.2.3.4.2 Piper og ildsted**

En potensiell tennkilde i hulrom er piper som ikke oppfyller forskriftsmessige krav. For å unngå antennelse av brennbare materialer rundt pipen er det krav til at avstanden fra røykløp til brennbar konstruksjon er 23 cm, tilsvarende lengden på en teglstein. Figur 10 viser korrekt utførelse av pipe mot brennbare konstruksjoner [24].



Figur 10 Eksempel på korrekt utførelse av pipe mot brannbar vegg og etasjeskille. Bilder hentet fra Byggforskdatablad 752.135 [48].

Det er vanlig at eldre piper kun er utført i en halv teglstein, i disse tilfeller er det krav om utkravning i etasjeskiller for å hindre en temperaturøkning på mer enn 65 °C på utsiden av pipen [48]. For eldre piper som er oppført i en halv teglstein mot etasjeskiller og vegger i tre, er det krav til at pipen oppdateres ved reovering [24].

## 2.3 Automatiske brannsløkkeanlegg

### 2.3.1 Generelt

Det stilles i Byggeteknisk forskrift (TEK 17), med tilhørende veiledning (VTEK 17), krav til automatisk brannsløkkeanlegg i enkelte typer bygg. I tillegg benyttes automatiske brannsløkkeanlegg ofte som kompenserende tiltak for å veie opp for lempelser på krav i VTEK 17, samt i tilfeller der eier av bygg ønsker å beskytte personer og/eller materielle verdier.

Automatisk brannsløkkeanlegg og sløkkemiddel må velges med hensyn til person- og miljø sikkerhet, pålitelighet, kompleksitet og tilgjengelighet av sløkkemiddel, samt med hensyn til hvilken brann som kan oppstå og i hvilken grad sekundærskader kan tolereres. [36]

### 2.3.2 INERGEN

INERGEN er et beskyttet varemerke patentert av selskapene Fire Eater A/S og Tyco Fire and Integrated Solutions Ltd. INERGEN er en sløkkegass som går under den tekniske betegnelsen IG-541. Gassen består av 52 % nitrogen, 40 % argon og 8 % karbondioksid, og er betegnet som en inertgass. INERGEN har som hovedfunksjon å skape en inert atmosfære i volumet som skal beskyttes, ved å senke oksygenkonsentrasjonen til et nivå der forbrenning ikke kan skje. Atmosfæren ved havoverflaten består vanligvis av 78,1 vol% nitrogen, 20,95 vol% oksygen og mindre enn 1 vol% karbondioksid og andre stoffer. Når oksygenkonsentrasjonen blir redusert til 15 vol% eller mindre, vil de fleste brennbare materialer ikke kunne antenne eller forbrenne [38].

INERGEN har massetetthet på 1,43 kg/m<sup>3</sup>, mens luft har massetetthet på 1,20 kg/m<sup>3</sup> [49]. Fordi INERGEN-gassen er tyngre enn luft vil den synke mot bakken.

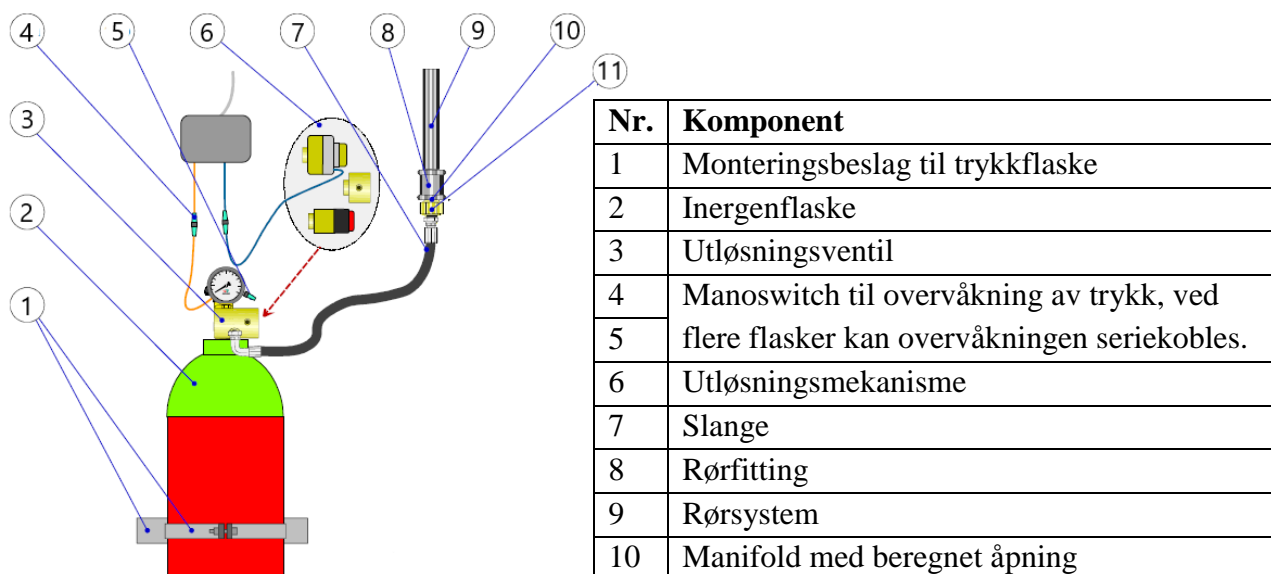
### 2.3.2.1 Miljø- og helsepåvirkning

INERGEN er en blanding av tre gasser som finnes naturlig i naturen – nitrogen, argon og karbondioksid. Siden gasskomponentene allerede finnes i atmosfæren, vil de ikke påvirke ozonlaget eller bidra til global oppvarming [38].

INERGEN utgjør ingen helsefare for mennesker, under forutsetning av at blandingsforholdet med luft ikke gir lavere oksygenkonsentrasjon enn anbefalt i standarden. Ved 12 vol% oksygen er det ikke registrert noen effekt av gassen mens det er liten effekt ved 10 vol%. Det anbefales at opphold i atmosfære med blanding av INERGEN og luft med oksygenkonsentrasjon i intervallet 10-12 vol% begrenses til 3 minutter [30]. INERGEN reduserer oksygenkonsentrasjonen i volumet som skal beskyttes til omkring 12 vol%, samtidig som det øker karbondioksidkonsentrasjonen til omtrent 4 vol%. Økningen i karbondioksid stimulerer menneskekroppen til å øke åndedrettsraten og evnen til å oppta oksygen for å kompensere for den lave oksygenkonsentrasjonen i rommet [38].

### 2.3.2.2 Systemoppbygning

INERGEN-anlegg består av et rørnettverk fra en flaskebank til faste dyser som slipper ut gassen. Flaskebanken består av en eller flere trykkflasker som oppbevarer INERGEN-gassen under et trykk på 200-300 bar. Ved utløsning gjør dette overtrykket at gassen siver ut av systemet, og krever dermed ingen eksterne hjelpemidler for å distribuere gassen til dekningsvolumet<sup>3</sup>. Eksempel på oppbygging av et simpelt INERGEN-anlegg med én flaske er illustrert i Figur 11.



Figur 11 Illustrasjon og beskrivelse av simpelt INERGEN-anlegg med én flaske [38]

Design av anlegget kan variere etter hvilke behov brukeren har. Det kan gjøres tilpasninger som lydredding, forlenget utløsning av INERGEN for soner med store lekkasjer, trykkavlastning, signal- og deteksjonsmuligheter og backup-flasker som gjør det mulig med flere utløsninger. Det er mulig å inndele anlegget i ulike soner, der gitt antall flasker som er dedikert til beskyttelse av

<sup>3</sup> Forelesning om INERGEN, Høgskolelektor Arjen Kraaijeveld, 20. februar 2017 ved HVL.

spesifikke soner eller områder. Eksempler på slik sonebeskyttelse kan være soner bestående av en eller flere etasjer, områder med mange rom eller ett enkelt rom som utgjør en spesiell brannrisiko eller innehar store materielle verdier [38].

Antallet av dyser som benyttes i et INERGEN-anlegg vil variere med størrelse og form på dekningsområdet. Generelt kan anlegget ha større avstand mellom dyser enn for både sprinkler og vanntåkeanlegg, siden dysen maksimalt kan dekke et areal på 53,6 m<sup>2</sup> [38].

### 2.3.2.3 Deteksjon

Utløsning av INERGEN-anlegg prosjektert av Fire Eater A/S baseres hovedsakelig på signal fra to detektorer. Deteksjonssystemet består av to nivåer. Nivå 1 er ved aktivering av én detektor som gir alarmsignal i slokkesonen eller hele bygget. Nivå 2 er ved aktivering av to detektorer der slokkeanlegget blir aktivert med en tidsforsinkelse på 20 sekunder. Nivå 1 brukes normalt til å stenge tilluft, dører og porter i byggverket, mens nivå 2 ofte styrer trykkavlastning i utløsningsvolumene<sup>4</sup>.

Deteksjonssystemet kan enten være et eget system som installeres eller byggverkets eget brannalarmanlegg. Installerer det et eget deteksjonssystem, vil dette normalt gi varsling til byggets brannalarmanlegg<sup>4</sup>. Det finnes flere typer detektorer og deteksjonsprinsipper. Av erfaring er aspirasjonsdetektorer med to nivåer ofte brukt. En kombinasjon av aspirasjon og punktdetektorer kan også benyttes, samt varme-, flamme eller gassdetektorer der dette er aktuelt<sup>4</sup>.

### 2.3.2.4 Regelverk

Design, installasjon, bruk og vedlikehold av et brannsløkkeanlegg med INERGEN skal følge bestemmelsene satt av NS-EN 15004-1:2008 "Faste brannsløkkesystemer. Gass-sløkkesystemer. Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold" eller NFPA 2001 "Clean Agent Fire Extinguishing Systems"<sup>3</sup>.

TEK 17 har klare retningslinjer om hvilke virksomheter som skal ha installert automatiske brannsløkkeanlegg. Innledningen til VTEK 17 refererer hovedsakelig til at sprinkleranlegg er det preaksepterte<sup>5</sup> valget av automatiske sløkkeanlegg, men siste avsnittet åpner likevel opp for bruk av andre typer sløkkeanlegg og sier følgende:

*"Det er mulig å benytte andre typer automatiske sløkkeanlegg enn sprinkleranlegg. Det forutsetter at det foreligger dokumentasjon i byggesaken som viser at det alternative anlegget vil gi minst likeverdig beskyttelse og pålitelighet som et automatisk sprinkleranlegg utført i samsvar med standardene angitt ovenfor. Samtidig må det dokumenteres at det sløkkemiddelet som brukes, ikke kan medføre fare for liv og helse." [50].*

<sup>4</sup> Informasjon fra mailkorrespondanse med Jørn Karlsen, Project Manager hos Fire Eater A/S, 20. april 2018

<sup>5</sup> En preakseptert løsning er en løsning foreslått i VTEK 17 og som er godkjent, uten videre krav om dokumentasjon av om funksjonskravet i forskriften (TEK 17) er tilfredsstillt.



### 2.3.2.5 *Designkonsentrasjon og holdetid*

Designkonsentrasjon og holdetid er to viktige begreper ved prosjektering av et INERGEN-anlegg. Designkonsentrasjonen er bestemt med bakgrunn i den type brensel som forventes å være i dekningsarealet. Ut fra typen brensel bestemmes den høyeste oksygenkonsentrasjon som må til for å slokke denne typen brann, kalt nødvendig slokkekonsentrasjon. Designkonsentrasjon er den nødvendige slokkekonsentrasjonen inkludert en sikkerhetsfaktor på 1,3. Når et anlegg utløses, skal romvolumet fylles med slokkegass til det oppnås designkonsentrasjon [30].

Etter at anlegget har redusert oksygenkonsentrasjonen til et tilfredsstillende nivå, er det krav om at atmosfæren i rommet skal ha en holdetid på minimum 10 minutter. Holdetiden er definert som tiden fra hele utløsningsvolumet har oppnådd designkonsentrasjon, til oksygenkonsentrasjonen i volumet har steget med 15 % av designkonsentrasjonen. For å fastsette en holdetid i det beskyttede området, må det enten utføres en fullskalatest i utløsningsvolumet eller en differansetrykktest [30].

Dersom det ikke oppnås tilstrekkelig holdetid finnes det løsninger som kan bidra til dette. Et eksempel på dette er Safe-air, et patentert produkt fra Fire Eater A/S, der en kombinasjon av INERGEN og vanlig luft tilføres i etterkant av utløst INERGEN-anlegg [51].

Safe-air bidrar til å stabilisere oksygenkonsentrasjonen på et lavt nivå, uten at den senkes ytterligere til et helseskadelig nivå. Formålet er å forlenge holdetiden i tilfeller der INERGEN-anlegget ikke gir tilstrekkelig holdetid, eller dersom det er ønskelig å forlenge holdetiden ut over krav. Safe-air gjør det mulig å designe INERGEN-anlegg til byggverk med større lekkasjetall, der holdetiden normalt er kort [51].

### 2.3.2.6 *IMT – INERGEN Management Tool*

IMT er et kalkuleringsprogram som benyttes ved prosjektering av INERGEN-anlegg. Programmet ble utviklet for å gjøre prosjekteringen mer effektiv og nøyaktig, og angir dimensjoner og egenskaper for flaskebank, rør, dysekalibrering, prisnotering, statistikk, komponenter og andre funksjoner [52]. Denne beregningen er med å bestemme hvor mye gass som skal brukes, gass- og oksygenkonsentrasjon som oppstår i volumet, størrelse på trykkavlastningsflate og strømningsrate inn i rommet. Det er ikke mulig å angi hvor stort lekkasjeareal som finnes i utløsningsvolumet, dermed tar ikke programmet hensyn til andre lekkasjearealer som kan finnes i tillegg til den angitte trykkavlastningsflaten. Samtidig inngår det i beregningene at trykkavlastningsflaten stenges etter utløst anlegg.<sup>6</sup>

### 2.3.3 **Andre slokkesystemer**

Det finnes mange typer slokkesystemer, men det er i denne oppgaven valgt å fokusere på sprinkleranlegg og vanntåkeanlegg som er de mest benyttede systemene i bygninger.

#### 2.3.3.1 *Sprinkleranlegg*

Sprinkleranlegg er det brannsløkkeanlegget som har eksistert lengst og er det mest anerkjente systemet som finnes. Det finnes mange varianter av sprinkleranlegg og utformingen varierer avhengig av objektet som skal sikres.

---

<sup>6</sup> Møte med Jørn Karlsen, Project Manager hos Fire Eater A/S, 21.02.18

Sprinkleranlegg fordeler vann i brannrommet via et system av ventiler, rør og sprinklerhoder; og har til formål å kontrollere en brann i en tidlig fase hovedsakelig ved å senke temperaturen i røyklaget samt fukte brennbare materialer. Sprinkleranlegg utløses ved et varmfølsomt element i hvert sprinklerhode som fungerer som en sikring. Brudd av denne sikringen vil føre til at vann spres fra det eller de sprinklerhodene der sikringen er brutt. Sprinklerhodene sitter enten i tak eller høyt på vegger og har et begrenset dekningsareal [36]. Et sprinkleranlegg vil bare kunne beskytte områder som dekkes av sprinklerhodenes dekningsareal, samt at det vil være risiko for vannskader ved aktivering eller feilutløsning.

### **2.3.3.2 Vanntåkesystem**

Vanntåkesystem er nært beslektet med sprinkleranlegg, men sprer vanndråper med mindre diameter enn det som er normalt for et sprinkleranlegg. Den reduserte dråpestørrelsen bidrar til minsket sannsynligheten for vannskader, grunnet at vanndråpene i stor grad fordamper før de treffer golvet. På denne måten slokker og kontrollerer et vanntåkesystem brann ved å senke temperaturen samt kvele brannen ved at vandampen fortrenger oksygen [53].

### 3 Metode for litteraturstudie og kvalitativ kartlegging

Litteraturstudien og den kvalitative kartleggingen er delt inn i to deler hvor det har blitt benyttet samfunnsvitenskapelige metoder, for å innhente informasjon om utforinger, utforming og plassering av hulrom. I arbeidet med den kvalitative kartleggingen har det blitt benyttet intervjuer og befaringer, mens i litteraturstudien har det blitt gjennomført dokumentgransking av relevante rapporter og statistikk.

En litteraturstudie er en kvalitativ undersøkelsesmetode der informasjonen blir hentet fra nedskrevne kilder som er forfattet av andre [54]. Informasjonen som har blitt benyttet i denne oppgaven er hentet fra masteroppgaven *Hulrommet brenner – men kan brannvesenet slokke brannen?*, statistikk fra DSB, SINTEF-rapporten *Elektriske Kabler og Brannrisiko* og bacheloroppgaven *INERGEN i verneverdige bygninger*. Disse kildene er valgt fordi de er direkte relatert til oppgavens problemstilling angående hulrom.

Den kvalitative kartleggingen består av to deler – dybdeintervju og observasjoner. Det ble gjennomført fire intervju, ett gruppeintervju og fire befaringer. Det ble valgt å ha intervju med tre forskjellige brannvesen, en kulturminnekonsulent og en brannetterforsker fordi disse har mye erfaring med hulrom og hvilke utfordringer disse medfører. Dybdeintervju ble valgt fordi det ga en mulighet til å stille åpne spørsmål med oppfølgingsspørsmål. Dette ga mulighet for å kunne utdype uklarheter eller misforståelser dersom det skulle oppstå [54].

Observasjonene ble gjennomført i form av befaringer i fire eldre byggverk fra tidsperioden ca. 1840 til 1930. Gjennom disse observasjonene var det mulig få en visuell bekreftelse på problematikken angående hulrom og erfaringene som fremkom under dybdeintervjuene. Siden det ikke var mulig å gjøre inngrep i byggverkene for å få innsyn til hulrom i vegger og etasjeskillere, var det kun mulig å observere hulrom som allerede var synlige eller delvis synlige. Hulrom som var skjult i konstruksjonen var dermed ikke mulig å observere.

## 4 Litteraturstudie og kvalitativ kartlegging

I denne oppgaven er det i forkant av forsøkene gjort et forstudium i form av en litteraturstudie og kvalitativ kartlegging, for å definere hulromsproblematikken. Forsøksoppsettene har blitt basert på funnene i litteraturstudien og den kvalitative kartleggingen.

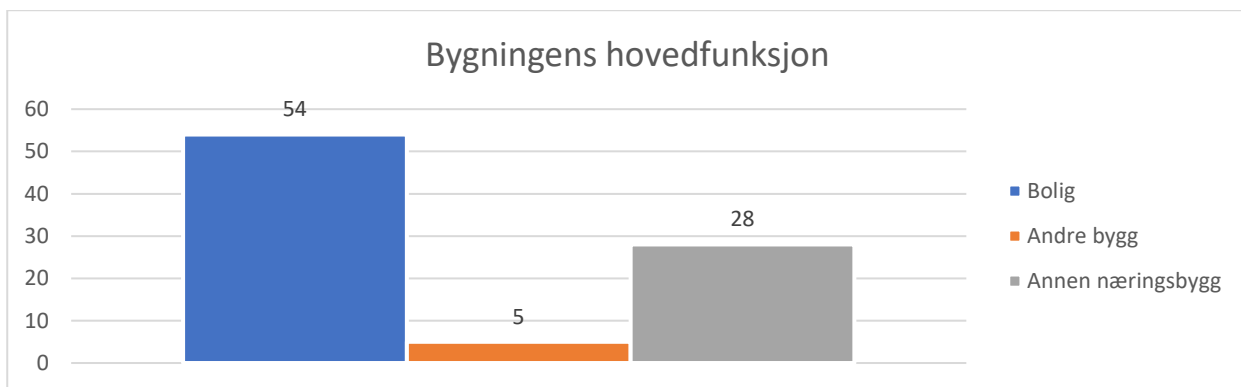
### 4.1 Statistikk

Dette delkapitlet vil gi et statistisk bilde av ulike branner som har oppstått i hulrom i ulike byggverk. Her blir det presentert statistikk om plassering av hulrom, type byggverk hulromsbrannen oppsto, tennkilder og utvikling og eventuell spredning av hulromsbrannen.

#### 4.1.1 Statistikk mottatt fra DSB

Brannstatistikk<sup>7</sup> hentet fra DSBs innrapporteringsystem BRIS, viser at det i 2016 og 2017 var henholdsvis 3061 og 3012 bygningsbranner i Norge [55]. I denne toårsperioden var det 87 branntilløp med arnested i hulrom i konstruksjoner. BRIS er et innrapporteringsystem for brannvesenets innsatser som ble innført i 2016. Informasjon fra tidligere år er mangelfull og inneholder ikke spesifikke data om brann i hulrom. Fordi dette kapittel kun bygger på statistikk fra de siste to år, er det vanskelig å vurdere om dataene er representativ for en lengre periode. Statistikken er likevel tatt med fordi det kan gi et bilde av omfanget av problematikken rundt brann i hulrom.

Figur 12 viser fordelingen av type bygg, der arnested var i hulrom i konstruksjonen. Av 87 branntilløp var 8 branner i verneverdige bygg, hvor 6 av disse var branner i næringsbygg og 2 i boligbygg.

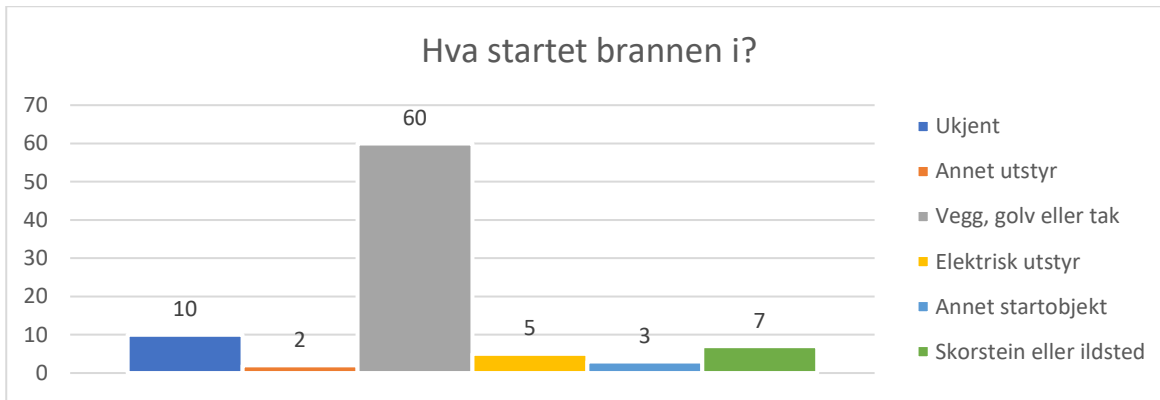


Figur 12 Bygningens hovedfunksjon, statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017.

Figur 13 viser at mesteparten av branntilløp med brannstart i hulrom har startet i vegger, etasjeskiller eller takkonstruksjoner. Andre arnesteder er i forbindelse med ildsted og skorstein eller elektriske installasjoner. Statistikken angir i de fleste tilfeller ikke tennkilde, derfor kan branner angitt som arnested i vegger, tak og etasjeskiller potensielt være antent av feil i elektriske

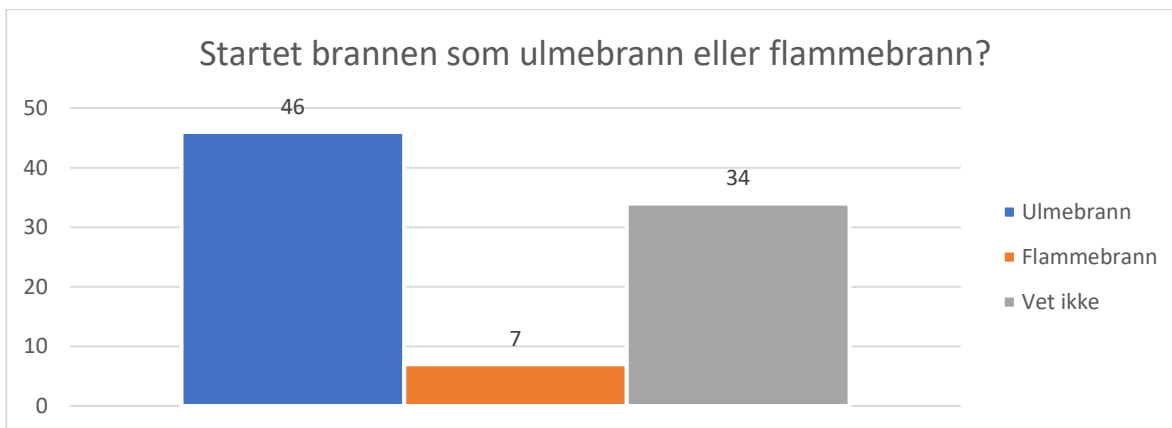
<sup>7</sup> Brannstatistikken er mottatt fra seniorkonsulent i DSB, Reidun Mo, som har sammenfattet statistikk for branner med arnested i hulrom i konstruksjoner. Statistikkdokumentet er vedlagt under Vedlegg G.

installasjoner, dårlig isolert skorstein, utvendig antennelse mv. Statistikken viser kun branner med arnested i hulrom, og ser derfor ikke på situasjoner der røyk eller ild er spredt til hulrom, eller via hulrom til andre deler av et bygg.



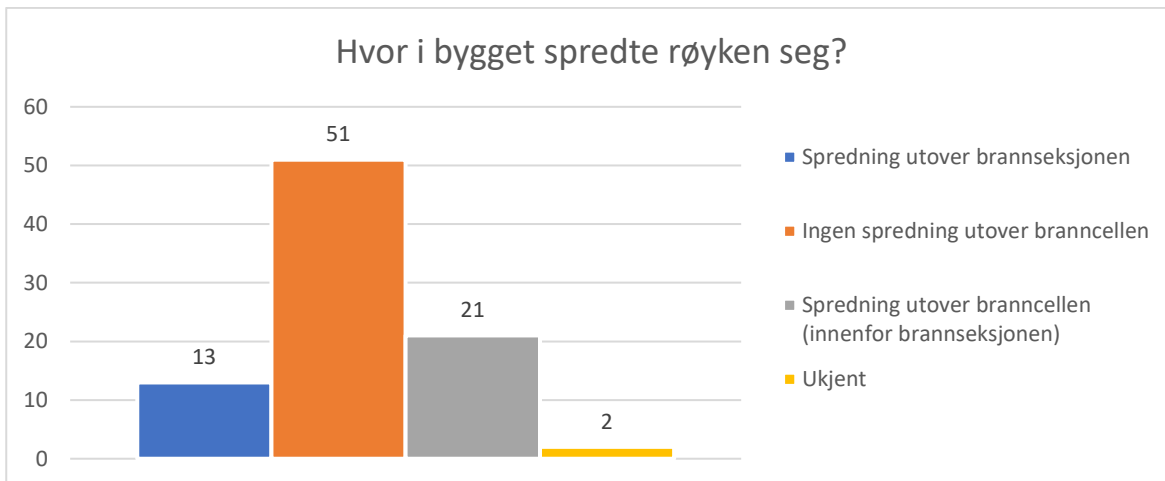
Figur 13 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017.

Mer enn halvparten av brannene med brannstart i hulrom, starter som ulmebrann. Figur 14 viser at 53 % av de registrerte brannene har startet som ulmebrann. Til sammenligning har kun 8 % startet som flammebrann. For en stor andel er det uvisst om brannen startet som ulmebrann eller flammebrann.



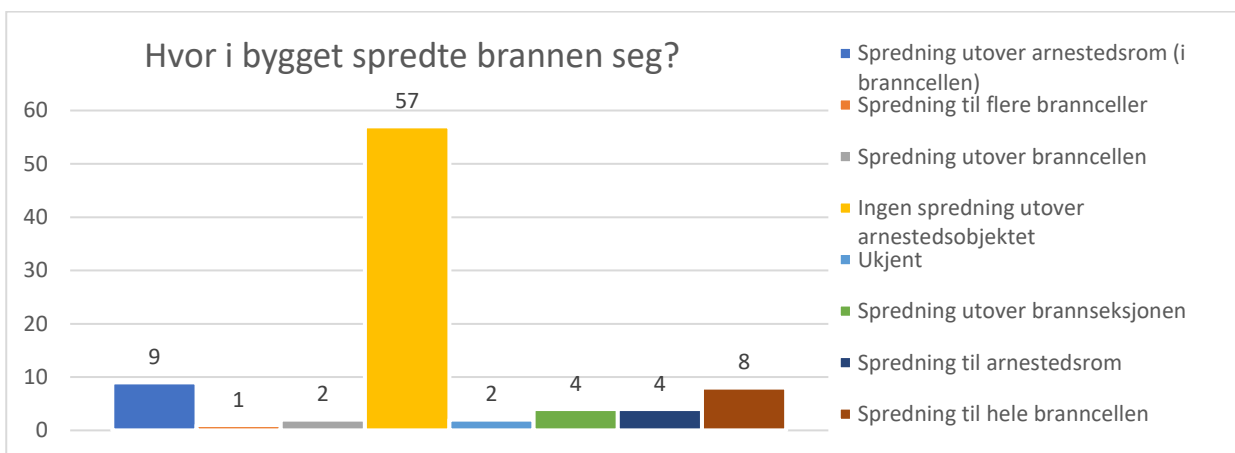
Figur 14 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017.

For å se på alvorlighetsgraden av de branner som starter i hulrom er det relevant å se på røyk- og brannspredning. Røykspredningen for branner med arnested i hulrom er vist i Figur 15. Grafen viser at røyken i 59 % av tilfellene ikke er spredt ut over branncellen, mens røyken i 39 % av tilfellene er spredt til flere brannceller eller ut over brannseksjonen. I kun 2 av 13 tilfeller med røykspredning utover brannseksjonen og 10 av 21 tilfeller med røykspredning utover branncellen, er det i byggverk som er inndelt i flere brannseksjoner eller -celler. For de resterende tilfellene der røyken har blitt spredt til flere brannceller eller -seksjoner er det i eneboliger uten brannteknisk inndeling.



Figur 15 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017

Brannspredningen er beskrevet i Figur 16, der grafen viser at brannen i 66 % av tilføllene ikke er spredd ut over startobjektet. Brannen har altså i 2 av 3 tilfeller ikke fått utvikle seg. For 10 % er brannspredningen ukjent, mens det i resten av branntilføllene har vært spredning enten i branncellen eller til flere brannceller. For de fire brannene som er angitt med spredning utover brannseksjonen, er dette feil. I ett av tilføllene har det vært spredning mellom brannceller i en tomannsbolig, mens de resterende tilføllene er i eneboliger uten brannteknisk inndeling.



Figur 16 Statistikk fra DSB, brann med arnested angitt som "hulrom i konstruksjon", for 87 branner i perioden 2016-2017

Statistikken viser generelt at det er en stor fordeling i type bygg, der brannstart er i hulrom. En stor andel av brannene starter som ulmebrann, der tennkilden kan være elektriske anlegg, ildsted og piper. For størstedelen av branntilføllene er tennkilden derimot ikke kjent. For to av tre branner med start i hulrom utvikles ikke brannen videre fra startobjektet. Det finnes likevel tilfeller der røyk eller brann har blitt spredd mellom brannceller eller -seksjoner. Statistikken dekker kun branner med arnested i hulrom, det kan derfor være tilfeller der brann- og røykspredning har skjedd til hulrom eller via hulrom til andre brannceller.

#### 4.1.2 Elektrisk branner og brannrisiko

Elektriske årsaker vurderes å være en av de viktigste tennkilder i forbindelse med hulromsbranner. Med bakgrunn i denne vurderingen er SINTEF-rapporten *Elektriske Kabler og Brannrisiko* [9] tatt med i denne litteraturstudien – selv om resultatene ikke er direkte relatert til hulrom. Rapporten refererer til statistikker og undersøkelser av brann i elektriske anlegg, samt tilstanden til forskjellig installasjonsmateriell i eldre byggverk. Undersøkelsen påpeker at årsakene til hyppigheten av brann i eldre hus er generell aldring av elektriske installasjoner, at det elektriske anlegget er underdimensjonert for dagens strømforbruk og at anleggene ikke oppfyller krav i dagens regelverk.

Rapporten angir med utgangspunkt i norsk brannstatistikk at mellom 2,0 % og 4,5 % av alle boligbranner i perioden 1995 til 2009 startet i elektrisk installasjonsmateriell. Installasjonsmateriell omfatter kabler, stikkontakter, koblingsbokser og brytere. Statistikken viser at det har vært en økning i antall branner i installasjonsmateriell – fra 60 branner i 1995 til 150 branner i 2009. Det har altså vært mer enn en fordobling av antall branner i installasjonsmateriell, selv om det i perioden er innført strengere krav i regelverket. Årsaken til denne økningen i branntilfeller er ikke beskrevet direkte, men det forventes at statistikken vil bli bedre i fremtiden, når effekten av nyere regelverk kommer til uttrykk [9].

For å antenne omkringliggende brennbare materialer må det være nok elektrisk energi til å forårsake en tilstrekkelig økning i temperatur lokalt i anlegget. Fenomener som kan medføre tilstrekkelig energi til å skape antennelse er lysbue, motstandsoppvarming og ytre varmekilder. Lysbuen er i norske studier funnet til å være den vanligste årsaken til brann i elektriske anlegg [9].

#### 4.2 Hulrommet brenner

Masteroppgaven *Hulrommet brenner – men kan brannvesenet slokke brannen?* [17], skrevet av Anette Løvjomås i 2016, omfatter problemstillinger i forbindelse med slokkeinnsats i hulrom. Formålet med oppgaven var å undersøke temaet brann i hulrom i tett verneverdig trehusbebyggelse, og brannvesenets mulighet til å slokke slike branner. Oppgaven begrenses til hulrom under ytterkledning, i loft, innkledde kanaler og små hulrom mellom hus. Den inneholder en litteraturstudie, samt en spørreundersøkelse blant brannvesener med tett verneverdig trehusbebyggelse i sitt dekningsområde.

Løvjomås stiller spørsmål rundt hvorfor hulrom er et problem for brannvesen, i hvilken grad brannvesenene har kartlagt hulrom i verneverdige bygg, samt i hvilken grad brannvesen har kompetanse og utstyr til å oppdage og slokke en brann i hulrom.

Bakgrunnen for oppgaven er stortingsmelding 35 (2008-2009), der stortinget har som nasjonal målsetning at ingen uerstattelige kulturminner skal gå tapt. Meldingen sier at kommune og brannvesen skal etablere og drifte et brannvesen med tilstrekkelig kompetanse som kan ivareta forebyggende- og beredskapsmessige oppgaver på en hensiktsmessig måte [33].

##### 4.2.1 Brannsikringsplan

For å sikre eldre verneverdig trehusbebyggelse er det nødvendig med helhetlig brannsikring. En måte dette kan gjøres på er å utarbeide brannsikringsplaner for slike områder, der relevante forhold

– eksempelvis skjulte hulrom – avdekkes. Det finnes veiledninger som kan benyttes som verktøy til utarbeidelse av brannsikringsplaner.

Løvjomås spørreundersøkelse angående brannsikringsplaner tar utgangspunkt i 28 tilsendte brannsikringsplaner fra 32 kommuner, som til sammen dekker 84 områder med tett verneverdig trehusbebyggelse. 27 av de totalt 59 kommunene svarer i undersøkelsen at de ikke har utarbeidet slike planer. Brannsikringsplanene er utarbeidet av kommune, brannvesen eller rådgivende ingeniører. Undersøkelsen viser at hulrom er nevnt i 61 % av brannsikringsplaner, mens 18 % nevner generell stor brannspredningsfare i området. For den resterende del er hulrom eller spredningsfare ikke nevnt. Det blir i undersøkelsen spurt om det er foretatt en spesifikk og dokumentert kartlegging av spredningsfaren i tett verneverdig trehusbebyggelse. Til dette svarte tre av fire at det var gjort. Til sammenligning svarer kun tre av ti at de har kartlagt skjulte hulrom i bebyggelsen.

Løvjomås påpeker at det mangler statistikk, angående brann i hulrom, som kan bruke som grunnlag for kommunenes risiko og sårbarhetsanalyser. Med bakgrunn i artikler i medier, konstaterer hun at branner i tett verneverdig trehusbebyggelse fortsatt er et problem, der brann i hulrom har vært nevnt som en utfordring.

#### **4.2.2 Kartlegging av hulrom**

Spørreundersøkelsen til Løvjomås viser at kommuner og brannvesener i liten grad har kartlagt skjulte hulrom i verneverdige bygg. Den manglende kartlegging betyr at brannsikkerheten i mange bygg ikke ligger på et forventet nivå. Formålet med avdekning av hulrom er å hindre spredning i og mellom bygg. Manglende avdekning i brannsikringsstrategien kan føre til et feil bilde av brannsikkerheten.

Løvjomås refererer til rapporten *Byen brenner*, der det foreslås punkter som bør avdekkes av brannvesen i forbindelse med utarbeidelse av brannsikringsplan for tett verneverdig trehusbebyggelse. Et av punktene er hulrom – der det anbefales å kontrollere hulrom i tak og fasade, spesielle detaljer i forhold til brannstart og brannspredning samt tilgjengelighet for brannvesen. Innvendig bør det kontrolleres spredningsveier – spesielt til loft, uheldige branntekniske detaljer, luftkanaler og hulrom i konstruksjon.

#### **4.2.3 Spredningsfaren**

Løvjomås konstaterer at eldre tett trehusbebyggelse i Norge er i dårlig brannteknisk forfatning, og utgjør en større risiko enn bygg oppført etter dagens regelverk. Et av problemene som blir påpekt er faren for brannspredning. Brannstart i hulrom bak ytterkledning medfører stor risiko for spredning til loft, via vinduer til andre brannceller og til nabobygg. Grunnet vanskelig slokkeinnsats er faren for storbrann og konflagrasjon større enn i andre områder.

Brann i hulrom bak ytterkledning kan utvikles og spres raskt, grunnet lett antennelig materiale som støv og flis i kombinasjon med forvarming av varme røykgasser og stråling mellom brannbare overflater. Løvjomås viser til forskning fra England og Finland som viser at branner spres fem til ti ganger hurtigere på innsiden av kledning enn på utsiden.



#### 4.2.4 Oppgradering til dagens krav

Verneverdige bygg er det sjelden mulig å oppgradere til dagens branntekniske krav – ofte vil slike oppgraderinger være uhensiktsmessige grunnet høye kostnader, samtidig som ønsket om å ivareta kulturminner må tas hensyn til, slik at byggets utforming må bevares. Løvjomås konstaterer derfor at det bør i større grad åpnes for alternative og enklere løsninger, som brannsløkkeanlegg.

#### 4.2.5 Automatiske brannsløkkeanlegg

En problemstilling som fremheves i masteroppgaven er effekten av sprinkleranlegg i forbindelse med brann i hulrom. Problemet i bygg med installert sprinkleranlegg er at dette ikke kan slukke brann i hulrom, brannen kan derfor bli stor før anlegget utløses.

Løvjomås nevner, med bakgrunn i rapporten *Byen brenner*, alternative sløkkeanlegg som vanntåke, skum, sløkkerøyk og inertgass. Bruk av inertgass fremheves etter samtaler med Fire Eater Norge. Løvjomås skriver at det ikke finnes anerkjent forskning som viser effekten av INERGEN i tett verneverdig trehusbebyggelse, men at det er gjort mange fullskala-tester som viser at INERGEN er et effektivt sløkkemiddel. Det blir henvist til at Riksantikvaren har godkjent bruk av INERGEN i verneverdige bygg. Ett av brannvesenene i spørreundersøkelsen nevner også inertgass som forslag til alternativt sløkkemiddel for brannbekjempelse i hulrom. Løvjomås anbefaler at Riksantikvaren og DSB gjør videre forskning i bruk av INERGEN. Hun henviser til at gassen vil slukke brannen i en tidlig fase, vil minimere følgeskader, er personsikker og – i motsetning til et sprinkleranlegg – har mulighet til å slukke brann i hulrom.

### 4.3 INERGEN i verneverdige bygninger

Bacheloroppgaven *INERGEN i verneverdige bygninger* [19], skrevet av Siri Herlin Walaker, Liv Astrid Bergsaker og Birgitte Storestein, har som formål å identifisere muligheter og begrensninger ved å benytte INERGEN i verneverdige bygg. Bakgrunnen for oppgaven er knyttet til verdisikring av uerstattelige verdier, som ikke kan utsettes for sekundærskader fra mer tradisjonelle sløkkeanlegg som sprinkleranlegg og vanntåkesystemer. En av utfordringene som undersøkes er om det kan opprettholdes tilfredsstillende mengde sløkkegass i bygg med store lekkasjer.

Bacheloroppgaven inneholder praktiske forsøk utført i et forsøksrom med regulerbare lekkasjeåpninger og romdimensjonene 3,50 m x 2,80 m x 3,01 m (LxBxH). Forsøkene er gjort inne i et eksisterende bygg med golv og tak av betong. Oppsettet er beskyttet med en 300 bars INERGEN-flaske og består av lettvegger av stenderverk kledd med gips og vindusflater. Lekkasjeåpninger i forsøksrommet er i form av hull oppe ved tak og nede ved golv, samt to større og rektangulære lekkasjearealer midt på veggene.

Det er utført totalt ni forsøk der lekkasjearealene, og dermed lekkasjetallene, varierer. For å oppnå lekkasjetallene er de forskjellige lekkasjeåpningene teipet i ulike konfigurasjoner – fra 0 til 410 cm<sup>2</sup> store lekkasjeareal. Lekkasjetallene varierer fra 12,2 til 38,7 luftskift per time. For å måle effekten av sløkkeanlegget er oksygenkonsentrasjonen registrert ved å benytte oksygenmålere i forskjellige høyder.

I forbindelse med bacheloroppgaven er det i tillegg utført differansetrykktest i et våningshus i Årvik Gate 9. Bygget er fra før år 1840 og er et av de eldste byggene i Haugesund. Det ble utført tester i

tre deler av byggverket, og resultatene varierte fra 12,35 til 26,71 luftskift/time. I den ene delen av bygget var det store og synlige lekkasjer som medførte at det ikke ble oppnådd overtrykk, som er en nødvendighet for å kunne tallfeste lekkasjen.

I oppgaven konkluderes det med at selv om designkonsentrasjon ikke ble oppnådd i noen av forsøkene, kan INERGEN være en løsning i bygg med store lekkasjer. Det bemerkes at tiden med en slokkedyktig atmosfære holdes i lang tid tross store lekkasjer. Viktigheten av at slokkeanlegg må tilpasses utetthetene som finnes i byggverk, fremheves.

#### **4.4 Kvalitativ kartlegging**

Det er foretatt intervju med forskjellige brannvesen, en kulturminnekonsulent i Karmøy Kommune og en kriminaltekniker fra politiet i Bergen. Det er foretatt befaringer på tre forskjellige adresser, der hulrom og branntekniske løsninger ble undersøkt i eldre trehus fra perioden 1840-1930. I dette kapittelet er de viktigste funnene fra kartleggingen oppsummert.

##### **4.4.1 Intervju**

###### **4.4.1.1 Intervju med Haugesund brannvesen**

Det ble gjennomført intervju med brannmester Tolleik Haavik og underbrannmester Patrick Geir Pettersen i Haugesund brannvesen<sup>8</sup>. Det ble spurt om brannvesenets erfaringer knyttet til hulrom i konstruksjoner og brannstart i forbindelse med hulrom. I intervjuene fremkommer det at brannvesenet har hatt problemer knyttet til brann i hulrom, spesielt med tanke på å lokalisere branner og komme til med slokkemiddel. De har også erfaringer der hulrom har bidratt til å spre branner raskt til nye deler av byggverk.

Brannvesenet fortalte om det de selv kalte "1880-hus", som er en betegnelse på de gamle trehusene som finnes i Haugesund sentrum og stammer fra perioden rundt 1880. I disse byggene hadde brannvesenet opplevd å finne flere hulrom i serie – altså flere hulrom utenpå hverandre, som følge av raske og enkle oppussingsjobber der nytt ble ført utenpå gammelt. Dette har ført til å vanskeliggjøre brannvesenets slokkeinnsats ved å skjule branner, samt at det skaper mye jobb i forbindelse med rive-arbeid og hulltaking for å kunne komme til med slokkemiddel i hulrommene. I disse byggverkene var det også vanlig å finne hulrom i himlingskonstruksjoner der taket hadde blitt nedsenket av estetiske årsaker og for å gjøre plass til rør- og kabelføringer.

Brannvesenet fortalte også om hendelser der hulrom rundt piper hadde bidratt til brannspredning. De hadde sett flere tilfeller med dårlig branntekniske løsninger i forbindelse med piper, der bjelker ble understøttet av pipe og det var lite som skilte treverket fra røyken i pipen.

De antennelseskildene brannvesenet kunne koble mot brannstart i hulrom og branner som er spredt til hulrom i eldre byggverk, var:

- Lysarmaturer
- Spotlight/downlight – det er da spesielt den eldre typen spottere uten innfellingsboks og utstyrt med sterkere pærer enn dagens LED-pærer

---

<sup>8</sup> Intervju med Haugesund brannvesen 16. januar 2018, Haugesund Brannstasjon

- Omformere i forbindelse med lamper

I forbindelse med de opplistede elektriske apparatene hender det at kabler er trukket i hulrom i nedsenket himling. Brannvesenet har ikke tilgang til statistikk rundt antennelse knyttet til hulrom, siden det er politiet som utfører brannetterforskning. Brannvesenets erfaringer rundt dette temaet er dermed bare antagelser basert på de mest klare indikasjonene de har hatt i forbindelse med slukkeinnsats.

#### **4.4.1.2 Intervju med Karmøy brannvesen**

Det ble gjennomført intervju med brannsjef Onar Walland i Karmøy brannvesen<sup>9</sup>. Han ble stilt de samme spørsmålene som sine kollegaer i Haugesund brannvesen, og har mye av de samme erfaringene.

I følge brannsjefen er brann i hulrom en kjent problematikk – både i eldre og nyere bygg. Brannvesenets erfaringer knyttet til hulromsbranner er ofte i forbindelse med utvendige tak- og veggkonstruksjoner. Hulrom i innvendige konstruksjoner er ofte lettere å komme til, fordi disse konstruksjonene vanligvis er mindre robuste enn utvendige konstruksjoner. I eldre bygg kan denne typen hulrom også være en utfordring, siden byggene vanligvis er utsatt for flere oppussinger og påbygninger. Slike endringer fører til at det kan være flere hulrom utenpå hverandre, noe som vanskeliggjør brannvesenets lokaliseringsarbeid.

Leting etter brann skjer regelmessig og brannsjefen mener han i noen tilfeller må ta stilling til hvor mye av bygningsmassen som må rives i forsøket på å verifisere om brannen er sløkket. Et annet hensyn som må tas i forbindelse med lokaliseringsarbeidet er røykdykkernes helse og sikkerhet. Brannvesenet hadde i forbindelse med innsats registrert at det er brukt en del brennbar hulroms-isolasjon i eldre bygg, spesielt sagspon og papirisolasjon.

#### **4.4.1.3 Intervju med kulturminnekonsulent i Karmøy Kommune**

Det ble gjennomført intervju<sup>10</sup> med kulturminnekonsulent i Karmøy Kommune og styremedlem av håndkraft<sup>11</sup>, Rune Johnsen, som tidligere har arbeidet som byggmester. I kommunen arbeider kulturminnekonsulentene bl.a. med bygningsvern, og gir råd i saker som angår restaurering, endring, eller riving av eldre byggverk. Temaene for intervjuet var generell oppbygging av eldre trehus og kartlegging av hulrom i slik bebyggelse.

I intervjuet kom det frem at eldre trehus i Norge stort sett er bygd med laftekasse, og spesielt på Haugalandet er laftekassen kledd med trepanel. I andre deler av landet, med mindre slagregn, er det mer vanlig med eksponert laft som ytterste sjikt. Ofte vil det være tett i overgangen mellom grunnmur og ytterkledning, fordi det er lagt et sjikt med murpuss over overgangen. Dette medfører at det vil være begrenset sirkulasjon av luft bak ytterkledningen. I nyere bygg er det luftet ytterkledning for å unngå kondens og soppdannelse. Bak ytterkledningen er det hulrom som er

---

<sup>9</sup> Intervju med Karmøy Brannvesen 18. januar 2018, Karmøy Brannstasjon.

<sup>10</sup> Intervju med kulturminnekonsulent, Rune Johnsen, torsdag 25. januar 2018 ved HVL, avd. Haugesund.

<sup>11</sup> "Håndkraft- forum for tradisjonshåndverk" er et nettverk som samler håndverkere med interesse for tradisjoner i Haugalandområdet. Det blir utvekslet kunnskap og kompetanse mellom forumets medlemmer gjennom arrangementer som kurs, fagkvelder og studieturer. [61]

dannet ved å bruke stående stendere, kalt opplengere, med tykkelse på 7 cm. Lekkasje av gass og røyk ut til disse hulrommene vil være minimal siden laftekassen i mange tilfeller er forholdsvis tett. Erfaringsmessig finnes det en del utettheter rundt vinduer som i teorien kan være mulig lekkasjevei fra innvendig rom til hulrommet, men det antas at dette ikke er tilstrekkelig med hensyn til å oppnå tilfredsstillende mengde slokkegass i denne typen hulrom.

Det er som tidligere nevnt en forholdsvis generell konstruksjonsmåte for eldre trebygg, men kulturminnekonsulentene pointerer at det ikke finnes en generell utforming når det gjelder hvordan disse byggene er modernisert og påbygd. Noe kan ha blitt gjort av fagfolk og noe av ufaglærte. I tillegg kan det være store forskjeller i ett og samme bygg siden det kan være endret på i ulike etapper, og dermed være utført etter ulike byggeskikker.

Erfaringer tilsier at det ble vanlig med modernisering rundt år 1900. I denne perioden ble det innført nye materialer og teknikker som bidro til å skape variasjon i utformingen av eldre trehus. Den hyppigste formen for modernisering var plater og panel som ble festet direkte på tømmerveggene, Bjelkelaget i eldre byggverk var ofte utført med synlig bjelkelag og golvbord. I forbindelse med modernisering var det vanlig å tilføre himlingspanel eller stubbloft. Mellom etasjer ment for beboelse var hulrommet sjeldent isolert. Stubbloft var vanlig i etasjeskiller mot kjeller, her var bjelkelaget ofte fylt med høvelspon, samt at det også ble brukt leire, trebiter og annet uregelmessig brennbart bygningsavfall. Det var normalt lite sirkulasjon i bjelkelaget, noe som medførte ansamlinger av støv og annet finkornet material. På 1950-tallet ble dampsperre av plast introdusert i oppussingsarbeider.

Innvendig i eldre trehus kan det finnes hulrom som følge av modernisering. Eksempler på dette kan være innvendige vegger som lektes ut og kles med paneler og plater for å skjule tømmeret. På denne måten dannes det hulrom bak veggen, som en del huseiere benytter til å legge skjulte elektriske føringer i. Elektriske kablene kan være ført i stålrør, eller være ført gjennom bjelker ved at det er laget til hakk i bjelkene.

Erfaringer tilsier at bjelkelag er omtrentlig 15 cm høye, men det understrekes at høyden kan variere. Det er også variasjon utførelsen av bjelkelag med stubbloft, men en vanlig løsning er stubbloft som er lagt halvveis opp i bjelkelaget.

Kulturminnekonsulentene hadde ikke kunnskap eller erfaringer angående brannstart eller brann generelt, men han hadde i forbindelse med gjennomføring fra ildsted i et eldre bygg sett forkullet treverk. I dette tilfellet var det et røykrør som gikk gjennom bjelkelaget som hadde forårsaket forkullingen av omkringliggende treverk.

#### **4.4.1.4 Andre Intervjuer**

Det er i forbindelse med den kvalitative kartleggingen også foretatt telefonintervju med branninspektør Lasse Grahl-Jacobsen i Rogaland brann og redning IKS<sup>12</sup>, samt kriminaltekniker

---

<sup>12</sup> Intervjuet ble gjennomført fredag 19.januar

Eirik Baae i Bergen Politiet<sup>13</sup>. Tema for disse samtalene var hulrom og brannstart i forbindelse med hulrom.

Kriminaltekniker Eirik Baae har erfaringer som tilsier at brannstart inne i vegger og tak forekommer, og at det i denne forbindelse stort sett er elektriske årsaker som fremstår som mest sannsynlige antennelseskilder. Årsaken til at de elektriske komponentene fører til antennelse kan skyldes både slitasje- og montasjefeil, men det er veldig vanskelig å kunne stadfeste hvilken av årsakene som har bidratt til antennelse, hevder han.

Branninspektør Lasse Grahl-Jacobsen kobler brannstart inne i konstruksjoner opp mot piper, ildsteder og tilhørende rørføringer. Han nevner et branntilfelle fra kort tid siden, der brannstart inne i vegg var i forbindelse med rørføring fra utvendig peis.

#### 4.4.2 Befaringer

Det ble gjennomført befaringer på fire forskjellige byggverk fra tidsperioden ca. 1840 til 1930, hvor det ble fokusert på hvilke hulrom som finnes i vegg og etasjeskiller. Byggverkene er alle lokalisert på Haugalandet, hvor ett bygg ligger på Fosen i Karmøy, ett bygg i Tysvær og to bygg i Haugesund sentrum. Videre i dette delkapitlet vil de viktigste funnene fra befaringene bli presentert.

Det ble i flere bygg oppdaget hulrom i etasjeskiller. I bygget på Fosen ble det observert etasjeskille mellom kjelder og første etasje utført som stubbloft. Dette stubbloftet var fylt med isolasjon av mose. Bilde 1 viser hvordan hulrommet i et av byggene i Haugesund sentrum var utført med golvbord og himlingspanel på bjelkelaget. Hulrommet var 15 cm høyt og utført uten isolasjon.



Bilde 1 Bjelkelag utført med golvbord og himlingspanel

I to bygg ble det observert påfórede panelvegger innvendig på tømmerkassen utført som laft. Funnene viste at det var uisolerte hulrom med mellom 3-6 cm bredde. Det var i en del tilfeller lekkasjer inn til hulrommet i form av glipper og hull i panelet. Det var ikke mulig å åpne opp konstruksjonen for å se hulrommene i veggene, men i det ene bygg var veggen foret ut i ett rom mens panelet var plassert direkte på tømmerkassen i naborommet. Det var en tydelig forskjell i tykkelsen på veggene rundt vinduene, og lyd fra banking i veggpanelet ga en indikasjon på at det

<sup>13</sup> Intervjuet ble gjennomført torsdag 25.januar

var hulrom bak. I et annet bygg var det mulig å stikke inn en nøkkel i utettheter, dette vises på Bilde 2.



*Bilde 2 Innvendig panel påført ved utlekting på tømmerkasse*

Alle fire bygg var utført i laft med utvendig kledning. Observasjoner viste at hulrommet bak kledning var ca. syv cm, og på tre bygg var ytterkledningen plassert direkte på grunnmuren. Eksempel der ytterkledningen var plassert direkte på grunnmuren er vist på Bilde 3. Det ble observert at overgangen mellom grunnmur og kledning var forsøkt tettet med murpuss.



*Bilde 3 Ytterkledning på tømmerkasse plassert direkte på grunnmur*

Det ble i ett bygg observert gamle elektriske installasjoner trukket i hulrom bak kledning, samt gjennomføringer i vegger og etasjeskiller. Bilde 4 viser observasjoner fra befaringen, der de

elektriske installasjoner er trukket gjennom utskjæring i veggen. På den annen side av veggen var ledningen trukket i skjulte hulrom under panel i skråtaket som ble åpnet i forbindelse med befaringen.



Bilde 4 Gjennomføring av elektriske installasjoner i vegg. På den annen side av veggen er ledningen trukket i lukket hulrom under kledning

Pipen i det ene bygget var utført i en halv teglstein med puss på utsiden. Pipen er vist i Bilde 5 og var utført uten utkragning mot brennbare materialer i etasjeskiller og takkonstruksjon. Utførelsen oppfyller ikke dagens krav på 23 cm fra røykrør til brennbar konstruksjon. Det var ikke mulig å åpne for konstruksjonen, for å se om tømmeret hadde vært eksponert for varme.



Bilde 5 Pipe utført i halv teglstein mot brennbar konstruksjon

Andre observasjoner i forbindelse med befaringene samt mer detaljert informasjon om de fire byggene det ble utført befaring av, er beskrevet i Vedlegg F.

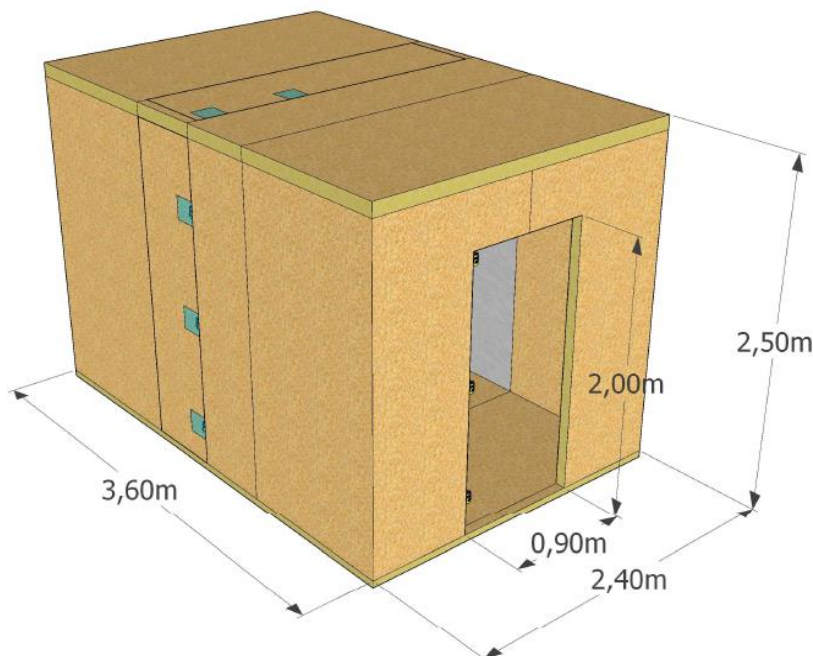
## 5 Metode for oppbygning og utførelse av forsøk

Dette kapitlet gir en innføring i forsøksoppsettet. Det har blitt utført både varme og kalde forsøk, henholdsvis med og uten brann, som følger en hypotetisk deduktiv metode. Denne metoden går ut på at det utarbeides en eller flere hypoteser som skal besvares gjennom eksperimentelle forsøk. I denne oppgaven har det blitt utarbeidet fire hypoteser med det formål å besvare hvilken slokkeeffekt et gass-slokkeanlegg har på hulromsbranner i konstruksjoner. Det ble bygget en forsøkskonstruksjon basert på funnene fra kapittel 4 *Litteraturstudie og kvalitativ kartlegging*, der totalt 19 eksperimentelle forsøk ble gjennomført for å besvare disse hypotesene. Utførelse og utforming av forsøkene vil bli detaljert beskrevet her.

### 5.1 Beskrivelse av forsøkskonstruksjonen og -oppsett

#### 5.1.1 Forsøkskonstruksjonen

Forsøkskonstruksjonen har mål tilsvarende et ISO-rom. Konstruksjonen har utvendige dimensjoner på 3,6 m x 2,4 m x 2,5 m (LxBxH). Denne konstruksjonen ble bygget som et standard bindingsverk med stendere, topp- og bunnsvill, samt OSB- og gipsplater. Stenderne ble satt opp med en avstand på 60 cm (senter – senter) fra hverandre. OSB-platene ble montert både på innsiden og utsiden av konstruksjonen. Dette ga en hulromsstørrelse som var 55 cm bred, 7,3 cm dyp og 230 cm høy. Hulrommene mot hjørnene var noe mindre, med en bredde på 45 cm. Bjelkelaget i etasjeskillet hadde en bredde på 55 cm, lengde på 230 cm og høyde på 9,8 cm. Hele konstruksjonen er vist i Figur 17. I hele konstruksjonen var det totalt 24 hulrom i veggene og etasjeskiller. I ytterste platesjikt ble det laget et lite vindu av plexiglass på ca. 15 x 15 cm, for innsyn til hulrommene, der oksygenmålerne var plassert.



Figur 17 Forsøkskonstruksjonen



Forsøkskonstruksjonen ble bygd slik kalde og varme forsøk kunne utføres på hver sin langsiden. På langsiden hvor de varme forsøkene skulle gjennomføres, ble den midterste OSB-platen erstattet med en gipsplate. I hulrommene med gipsplater ble også stenderne kledd med gips for å beskytte stenderverket fra varmpåvirkning fra de varme forsøkene. Siden stenderne ble dekket med gips, ble disse to hulrommene 26 mm smalere. Bilde 6 viser hvordan hulrommene ser ut på langsiden med gipsplate i midten.



Bilde 6 Utside av langvegg med gipsplate i midten

I nederste del av hulrommene kledd i gips ble det montert en kasse med åpen forbindelse til hulrommet i veggen, som vist i Bilde 7. Denne hadde et innvendig mål som var 40 cm dyp, 55 cm bred og 30 cm høy, dette var nødvendig for å få plass til måleutstyr og brensel. Innsiden av kassen ble kledd med gips for å hindre at den ble skadet eller ga et økt bidrag til brann i hulrommet. Videre forklaring av oppsettet til de kalde og varme forsøkene kommer senere i dokumentet under delkapitlene 5.1.4 Oppsett kalde forsøk og 5.1.5 Oppsett varme forsøk.



Bilde 7 Kasse for varme forsøk

#### 5.1.1.1 Antall hull i konstruksjonen

Som lekkasje inn til hulrommene og ut av konstruksjonen, ble det boret et jevnt fordelt antall hull i platekledningen på inn- og utside av veggene og etasjeskillet. Bilde 8 viser hvordan hullene i innerste platesjikt ble fordelt i ulike høyder på kort- og langveggen.



Bilde 8 Oversikt over fordelingen av lekkasjehull

Det ble valgt 6 forskjellige lekkasjescenarioer, med forskjellige lekkasjearealer på innerste og ytterste platesjikt. Disse presenteres i Tabell 2.

Tabell 2 Lekkasjescenarioer med tilhørende konfigurasjon av lekkasjearealer

Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute
1	75,4 cm <sup>2</sup>	75,4 cm <sup>2</sup>
2	351,9 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>
3	351,9 cm <sup>2</sup>	75,4 cm <sup>2</sup>
4	351,9 cm <sup>2</sup>	226,2 cm <sup>2</sup>
5	75,4 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>
6	226,2 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>

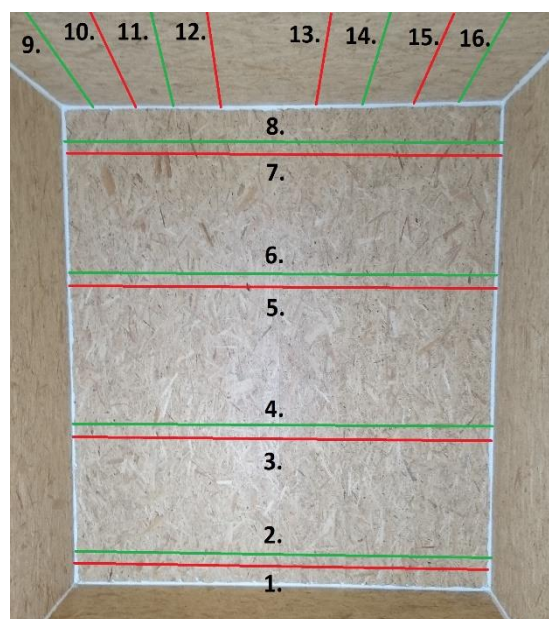
Med utgangspunkt i dette arealet ble det beregnet et totalt antall hull på 448 med en bordiameter på 10 mm i både utvendig og innvendig platesjikt. Det ble boret 4 rader med 5 hull, noe som ga et totalt antall på 20 hull per hulrom. I hjørnene ble det kun boret 4 hull per rad, noe som ga 16 hull per hulrom. I etasjeskillet ble det boret 4 rader med 5 hull i samtlige hulrom.

Hullene i innerste og ytterste platesjikt ble forskjøvet vertikalt i forhold til hverandre, så alle radene i ytterveggen var plassert 5 cm høyere enn i innerveggen. Dette er illustrert i Bilde 9, hvor de røde linjene var radene på innvendige plater, og de grønne linjene var radene i utvendige plater. Tabell 3 viser nøyaktige mål til plasseringen av radene både innvendig og utvendig. Hullene på hver rad ble plassert med en avstand 10 cm fra hverandre i hvert hulrom, og 20 cm avstand i overgangen mellom hulrommene.

For å hindre andre lekkasjer i konstruksjonen ble alle innvendige hjørner tettet med TEC-7, som vist på Bilde 9. Dette ble gjort for å ha mest mulig kontroll over lekkasjearealene. Utvendig ble det ikke foretatt tetting utover der det var synlige lekkasjeveier. Det er dermed forventet at det utvendige lekkasjearealet kan være høyere enn bidraget fra de utborede hullene.

Tabell 3 Avstand mellom rader i vegg og etasjeskillet

Rader i lang- og kortvegger			
Innvendig		Utvendig	
Nr.	Høyde fra golv [cm]	Nr.	Høyde fra golv [cm]
1.	10	2.	15
3.	81	4.	86
5.	154	6.	159
7.	225	8.	230
Rader i etasjeskillet			
Innvendig		Utvendig	
Nr.	Avstand fra langvegg [cm]	Nr.	Avstand fra langvegg [cm]
9.	43	10.	18
11.	90	12.	65
13.	135	14.	160
15.	182	16.	207



Bilde 9 Avstand mellom rader i vegg og etasjeskillet

### 5.1.2 Oppsett av INERGEN-anlegg

En IMT-beregning ble utført for det innvendige volumet av konstruksjonen, i samarbeide med Fire Eater A/S. IMT-beregningen ga en nødvendig trykkavlastningsflate på 40,4 cm<sup>2</sup> og en maksimal trykkøkning på 500 Pa. Med denne trykkavlastningsflaten skulle anlegget utstyres med en 50-litersflaske på 200 bar for å oppnå en gasskonsentrasjon på 41,9 vol% etter 120 sekunder, tilsvarende en designkonsentrasjon på 12,2 vol% oksygen. Fullstendig IMT-rapport ligger i Vedlegg A.

Bilde 10 viser hvordan INERGEN-anlegget se ut med flaskebank og et rørsystem som fører inn til utløsningsvolumet. Flaskebanken inneholdt én 50-litersflaske med et trykk på 200 bar. INERGEN-flasken var tilkoblet en utløserventil med trykkmåler og aktivator for utløsning av gassen. Fra utløserventilen førte en slange videre til en manifold tilkoblet et halvtom-rør og en dyse. dysen var plassert i ene hjørnet i utløsningsvolumet. Etter hvert forsøk med utløsning av INERGEN, måtte aktivatoren manuelt tilbakestilles.



Bilde 10 Oversikt over INERGEN-anlegget

### 5.1.3 Utstyr og måleinstrumenter

Måleinstrumentene som ble benyttet hadde som formål å dokumentere endringer i oksygen, temperatur, masse, trykk og visuelle hendelser for de forskjellige forsøkene. Måleinstrumentene ble plassert på utvalgte steder i forsøkskonstruksjonen. Til de kalde forsøkene ble det benyttet oksygen- og trykkmålere, mens det til de varme forsøkene ble benyttet termoelementer. Grunnet risikoen for eksponering av røyk og varme var det ikke mulig å benytte oksygenmålerne til de varme forsøkene. Under presenteres de ulike måleinstrumentene som ble benyttet og ved hvilken del av forsøkene de var relevant.

#### 5.1.3.1 Oksygenmålere

Under de kalde forsøkene ble det benyttet to typer oksygenmålere – fem målere av typen Riken Keiki OX-03 og tre målere av typen Dräger X-am® 2500.

#### 5.1.3.1.1 Riken Keiki OX-03

Detektorene av typen OX-03 er en gassdetektor beregnet for å måle oksygenkonsentrasjon. Detektorene har en sensor som hele tiden måler oksygenivået i den omliggende luften og angir oksygenkonsentrasjonen på displayet. Sensoren har en målerrekkevidde fra 0 til 40 vol% O<sub>2</sub> og en nøyaktighet på  $\pm 0,5$  vol%. I tillegg til manuell avlesning, er det mulig å overføre måledata via IR-kommunikasjon [56]. Disse dataene ble lagret med 20 sekunders intervall, for at dataloggingen skulle samsvare med loggføringen til observatørene.

#### 5.1.3.1.2 Dräger X-am 2500

Dräger X-am 2500 er en multigassdetektor som måler gasskonsentrasjonen til O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S LC, NO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub>. Detektorene har en sensor som hele tiden måler gasskonsentrasjonen i den omliggende luften og angir målingen på displayet. O<sub>2</sub>-sensoren har en målerrekkevidde fra 0 til 25 vol%, samt en nøyaktighet på  $\leq 0,3$  vol%. Det er ikke mulig å overføre målerdata fra detektoren til PC [57]. Resultatene fra målerne av typen Dräger X-am 2500 baseres på manuell datalogging.

#### 5.1.3.2 Termoelementer

Termoelementene som ble benyttet i denne oppgaven er av type K, og er temperaturfølere som brukes hvor det forventes å måle høye temperaturer. Rekkevidden til termoelementene ligger på ca. -200 °C til 1260 °C, sammen med en nøyaktighet på  $\pm 0,75$  % [58]. Termoelementene består av en metallwire som har en temperaturfølsom fremre del, samt en bakre del som kobles til en datalogger.

#### 5.1.3.3 Datalogger

Termoelementene ble koblet til en datalogger av typen Keysight 34972A. Dataen ble lagret med faste intervall gjennom et softwareprogram som heter BrannDataLogg 6.

#### 5.1.3.4 Observatører

Siden det ikke var mulig å overføre data til PC for alle oksygenmålerne, ble det brukt syv observatører til å fylle ut oksygenkonsentrasjon med et intervall på 20 sekunder. Alle observatører fikk ansvar for oksygenavlesning av 1-2 målere, der oksygenkonsentrasjonen ble notert på et utdelt skjema.

#### 5.1.3.5 Trykkmåler

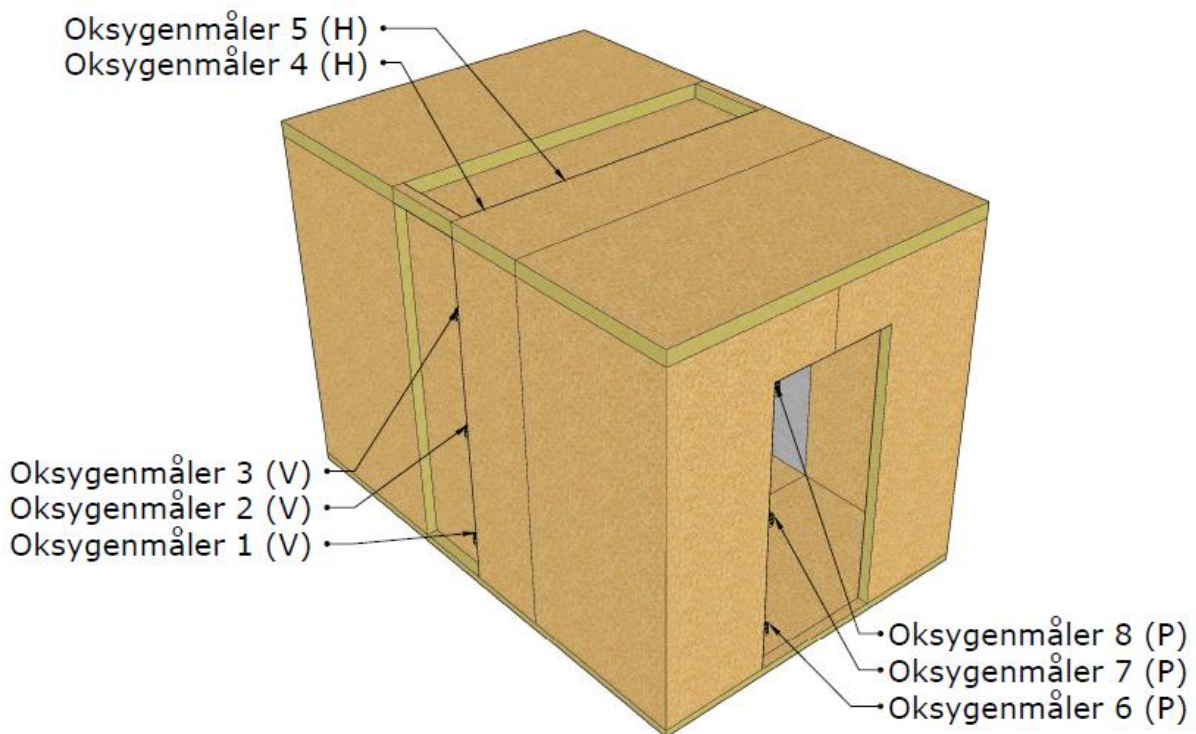
Trykkmåleren målte trykket i primærrømmet under varme og kalde forsøk og er av merket *Digital Contact Gauge PM 82-4 A7* fra selskapet Nöding Messtechnik. Trykkmåleren har en målerrekkevidde fra 0-25 mbar og en nøyaktighet på  $\leq \pm 0,5$  % ved 25 °C [59].

### 5.1.4 Oppsett kalde forsøk

For å teste inntrengning av INERGEN til hulrom i konstruksjonen ble det plassert oksygenmålere i ett hulrom i veggen og ett hulrom i bjelkelaget. Målerne ble plassert slik at avlesning ble gjort gjennom et vindu av pleksiglass. I veggen ble målerne plassert i ulike høyder, for å se forskjellen i oksygenkonsentrasjon i hulrommene. For å ha et sammenligningsgrunnlag for oksygenkonsentrasjon i hulrom og primærrom ble det plassert oksygenmålere i samme høyder. Plassering av oksygenmålerne og målnummer er angitt i Tabell 4 og plasseringen i konstruksjonen er illustrert i Figur 18.

Tabell 4 Plassering av oksygenmålere

Oksygenmåler nr.	Type måler	Plassering	Høyde fra golv
1	Riken Keiki OX-03	Hulrom vegg	35 cm
2	Riken Keiki OX-03	Hulrom vegg	120 cm
3	Riken Keiki OX-03	Hulrom vegg	200 cm
4	Riken Keiki OX-03	Hulrom himling, 10 cm fra vegg	242 cm
5	Riken Keiki OX-03	Hulrom himling, 120 cm fra vegg	242 cm
6	Dräger X-am 2500	Primærrom	35 cm
7	Dräger X-am 2500	Primærrom	120 cm
8	Dräger X-am 2500	Primærrom	200 cm



Figur 18 Oversikt over oksygenmålere i forsøkskonstruksjonen

### 5.1.5 Oppsett varme forsøk

Med bakgrunn i valgt lekkasjetall fra de kalde forsøkene ble det testet om INERGEN kunne slokke en brann i hulrom. Det ble gjort forsøk med brann i trespon, samt væskebrann med heptan. Alle forsøk med brann ble filmet både fra brannrom og fra utsiden. Inne i primærrommet ble det montert en ionisk røykdetektor midt i himlingen.

### 5.1.5.1 Brann i hulrom med trespon

I forsøket ble et finmasket nettingkar fylt med 100 gram Plospan Woodchips (trespon). For antennelse av tresponen ble nettingkaret plassert over to lysfakler, slik at tresponen ble utsatt for en konstant varmekilde. Nettingens maskestørrelse medførte at flammene ikke trengte gjennom nettingen. Faklene ble plassert i en brødform med to gipsstykker oppå kanten for å heve plasseringen til nettingkaret med trespon. Gipsstykkene hadde som funksjon med å sikre at faklene hadde nok tilluft, slik at nettingkaret ikke lå helt ned på faklene og dermed kvelte flammen. Bilde 11 viser hvordan oppsettet med varmekilder og trespon så ut for alle varme forsøk.

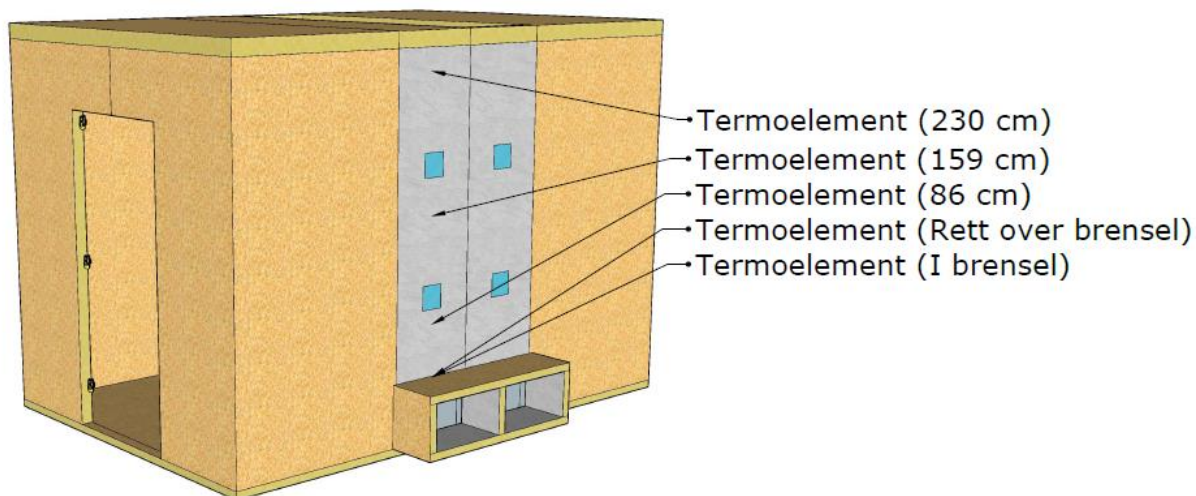


Bilde 11 Oppsettet med trespon

Hele oppsettet med trespon ble plassert i hulrommet med termoelementer i ulike høyder. I tillegg ble det plassert ett termoelement i tresponen og ett rett over. Dette ble gjort for å kunne overvåke temperaturen til ulmebrannen i selve tresponen, samt å få indikasjon på når overgangen fra ulmebrann til flammebrann inntreffer. For visuell oversikt ble det i hvert hulrom montert to vinduer av plexiglass. Tabell 5 vises nummereringen av termoelementer, samt høyden over golv. Figur 19 illustrerer oppsett av forsøket og plassering av termoelementer.

Tabell 5 Plassering av termoelementer til forsøk med brann i trespon

Utstyr:	Plassering:	Høyde fra golv:
Termoelement 14	I brensel	-
Termoelement 13	5 cm over brensel	-
Termoelement 1	I vegg	86 cm
Termoelement 3	I vegg	159 cm
Termoelement 5	I vegg	230 cm



Figur 19 Oppsett av forsøk med brann i trespon

## 5.2 Utførelse av forsøk

### 5.2.1 Differansetrykkmetode

Differansetrykktestene ble utført av Audun Wiik fra firmaet Awiico AS. Testene er utført i henhold til standard NS-EN 13829<sup>14</sup>. Det ble utføre tester for seks ulike lekkasjescenarioer med forskjellig lekkasjeareal på innerste og ytterste platesjikt. For å regulere det totale lekkasjearealet i konstruksjonen, ble det brukt sølvteip for å teipe igjen et bestemt antall hull. Resultatene er presentert i Tabell 6, og viser sammenheng mellom lekkasjeareal og lekkasjetall. I tillegg viser tabellen hvor mange hull som var åpne per rad i hvert hulrom, ved de ulike lekkasjescenarioene.

Tabell 6 Lekkasjetall for ulike lekkasjescenarioer

Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute	Antall åpne hull per rad inne/ute	Lekkasjetall [luftskift/t]
1	75,4 cm <sup>2</sup>	75,4 cm <sup>2</sup>	1/1	10,99
2	351,9 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>	5/5	32,66
3	351,9 cm <sup>2</sup>	75,4 cm <sup>2</sup>	5/1	16,25
4	351,9 cm <sup>2</sup>	226,2 cm <sup>2</sup>	5/3	24,54
5	75,4 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>	1/5	13,42
6	226,2 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>	3/5	26,43

Differansetrykktestene ble utført med kalibret utstyr, og alle rapportene fra differansetrykktestene ligger i *Vedlegg B*. Alle differansetrykktestene har en nøyaktighet på  $\pm 10\%$ <sup>15</sup>.

### 5.2.2 Kalde forsøk

Formålet med de kalde forsøkene er å undersøke i hvilken grad INERGEN-gassen vil påvirke oksygenkonsentrasjonen i hulrommene. Forsøkene tar utgangspunkt i lekkasjescenario 1-6, som beskrevet i Tabell 6. Oksygenkonsentrasjoner, holdetid og trykkendringer ble undersøkt i både hulrommene og primærrommet. Det ble utført totalt syv kalde forsøk, hvor det ble utført to forsøk av lekkasjescenario 1 for å undersøke usikkerheten til målingene. For lekkasjescenario 2-6 ble det kun utført ett forsøk per scenario. Utførelse av alle kalde forsøk ble gjennomført i samarbeid med observatører som avleste oksygenmålere med et tidsintervall på 20 sekunder. Hvert forsøk pågikk i 20 minutter. Etter hvert forsøk ble det tatt en pause på mellom 10-40 minutter, etter dette pausen ble oksygenkonsentrasjonen på alle målerne notert.

Mellom hvert forsøk ble det fulgt faste prosedyrer for endring av lekkasjeareal og utlufting av forsøkskonstruksjon, se *Vedlegg E*.

<sup>14</sup> Trykktester er utført av Awiico AS og det bemerkes at standarden er tilbaketrasket og erstattes av NS-EN ISO 9972:2015

<sup>15</sup> Opplysning fra Audun Wiik, i Awiico AS, 16.03.2018

### 5.2.3 Varme forsøk

Med bakgrunn i kalde forsøk med INERGEN, ble det valgt tre lekkasjescenarioer som ble benyttet til forsøk med brann i trespon og utløst INERGEN-anlegg. Formålet med denne delen av forsøket var å undersøke henholdsvis om INERGEN vil slokke eller kontrollere en brann i hulrommet, og om det var sammenheng mellom resultatene for kalde og varme forsøk. Lekkasjescenarioene som ble valgt til de varme forsøkene var lekkasjescenario 2, 3 og 5. Bakgrunn for disse valgene er at scenario 2 har høyest lekkasjetall. Scenario 5 ble forventet å ha den korteste tiden med slokkekonsentrasjon i hulrommet, fordi det er et lite lekkasjeareal inn til hulrommet og et stort lekkasjeareal ut. Scenario 3 ble forventet å ha den lengste tiden med slokkekonsentrasjon i hulrommet, fordi det er et stort lekkasjeareal inn til hulrommet og et lite lekkasjeareal ut. For lekkasjescenario 3 og 5 er det mulig å undersøke betydningen av lekkasjekonfigurasjonen, fordi lekkasjetallet er tilnærmet likt.

I tillegg til forsøk med INERGEN ble utført forsøk uten utløst slokkeanlegg, for å undersøke brannutviklingen i hulrommet. Siden hulrommet er av en begrenset størrelse, vil brannens oksygenopptak og røykproduksjon kunne bidra til at brannen kveles av seg selv.

Det ble utført totalt 12 varme forsøk, der ett forsøk var referanseforsøk utenfor hulrommet, syv var uten utløst slokkeanlegg og fire var med utløst slokkeanlegg. Oversikt over alle varme forsøk er presentert i Tabell 7, der fargene viser hvilke forsøk som har samme lekkasjescenario.

Med bakgrunn i to forsøk med heptan og trespon uten utløst slokkeanlegg (forsøksnummer 9 og 11) og ett forsøk med heptan og trespon med utløst slokkeanlegg (forsøksnummer 10), ble det besluttet å ikke bruke heptan i de resterende forsøkene. Det ble observert at hulrommet var så lite at heptanbrannen ble slokket av seg selv etter kort tid, grunnet oksygenmangel. Resultatene fra disse forsøk er valgt ikke å ta med i oppgaven, men grafer for forsøkene er presentert i *Vedlegg C*. I forsøk 16 og 19 ble det ingen rask brannutvikling og temperaturen steg sakte gjennom hele forsøket, resultatene fra disse forsøk er også kun presentert i *Vedlegg C*.

Tabell 7 Oversikt over varme forsøk

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]	Kommentar
8	-	Nei	-	Brann i det fri
9	2	Nei	1555	Fast stoff og heptan (se <i>Vedlegg C</i> )
10	2	Ja	1060	Fast stoff og heptan (se <i>Vedlegg C</i> )
11	2	Nei	830	Fast stoff og heptan (se <i>Vedlegg C</i> )
12	2	Nei	810	Fast stoff
13	2	Ja	592	Fast stoff
14	3	Nei	1076	Fast stoff
15	3	Ja	434	Fast stoff
16	3	Nei	1116	Fast stoff (se <i>Vedlegg C</i> )
17	5	Nei	1000	Fast stoff
18	5	Ja	-	Fast stoff
19	2	Nei	1040	Fast stoff (se <i>Vedlegg C</i> )



I forsøk nummer 8 ble heptan og trespon antent ute i det fri. Dette var for å danne et referansegrunnlag til hvordan brannen utviklet seg med fri tilgang på oksygen. Antennelsesmetoden og mengden brennbart stoff var den samme som forsøkene utført i hulrommet.

Slokkeanlegget ble utløst manuelt ved følgende utløsningskriterier: En rask temperaturstigning og temperaturer i intervallet 200-250 °C.

Siden både trespon og stearin i faklene vil ha massetap under forsøkene, ble det gjort to separate vektmålinger for å skille disse variablene. Først ble oppsettet veid med kun faklene og gipsstykkene, deretter ble oppsettet med nettingkar og trespon veid. Begge disse vektmålingene ble gjort før og etter alle forsøkene, slik at det er mulig å finne massetapet av både stearin og trespon.

Mellom hvert forsøk ble det fulgt faste rutiner for utlufting av røykgasser i konstruksjonen og temperaturkontroll av alle termoelementer, se *Vedlegg E*.

### **5.3 Bakgrunn og begrunnelser for valg av forsøksoppsett og utførelse**

I forsøkene ble det valgt å fokusere på hulrom i vegg og himling. Oppbygningen og utførelsen av forsøkene tar utgangspunkt i erfaringer og beskrivelser som ble avdekket i kapittel 4 *Litteraturstudie og kvalitativ kartlegging*.

Hulrommene i veggene i forsøkskonstruksjonen tar hovedsakelig utgangspunkt i erfaringene rundt oppusning og modernisering, i tillegg til de observasjonene som ble gjort i ulike veggkonstruksjoner under befaringene. Det var flere av intervjuobjektene som hadde erfaringer med hulrom bak vegger som følge av oppusning av eldre byggverk, men hulrommene var så forskjellige at det ikke fremkommer en typisk størrelse på disse hulrommene. Under befaringene ble det observert to tilfeller der vegger var påført vegger innvendig, her var bredden på hulrommene 30-60 mm. Denne observasjonen ble dermed ett av utgangspunktene til valg av hulromsstørrelse i forsøkskonstruksjonen. Et annet utgangspunkt har vært uttalelsene til kulturminnekonsulenten som fortalte under intervjuet at hulrom bak ytterkledning i lafede bygg ofte har en dimensjon på syv centimeter. I tillegg var det viktig at hulrommene var store nok til å kunne romme ulike måleinstrumenter. Valg av hulromsstørrelse med en dybde på 73 mm ble basert på de nevnte utgangspunktene, og ga god plass til oksygenmålere i vegg.

Hulrommet brukt under de varme forsøkene hadde også en dybde på 73 mm, men for å få plass til både forsøksoppsettet og måleutstyr var det nødvendig å utvide hulrommet med en kasse i bunnen av hulrommet. Kassen som ble bygget ble spesielt dimensjonert for å kunne få plass til vekt, som hadde som hensikt i å måle massetapet til brenselet under forsøkene. Underveis i forsøkene fremkom det at resultatene fra vekten ble påvirket av trykket i hulrommet, noe som førte til at massen økte utover i brannforløpet i stedet for å minke. Derfor ble det valgt å se bort ifra disse målingene.

Valg av hulromstørrelse i bjelkelaget kommer fra beskrivelsen av ulike etasjeskillere fra intervjuet med kulturminnekonsulenten fra Karmøy kommune og observasjonene gjort i befaringene. Ett utgangspunkt for valg av hulromstørrelse i bjelkelaget var uttalelser fra kulturminnekonsulenten som beskrev at bjelkelag i etasjeskillere ofte var utført uten bruk av isolasjon og omtrent 15 cm høyt. Ett annet utgangspunkt var bjelkelag som hadde gjennomgått en modernisering og som ofte var utført som stubbloft. Under befaringene ble det observert bjelkelag som både var lukket og åpne, hvor høyden samstemte med uttalelsene i intervjuet. I flere av byggverkene ble det i tillegg observert etasjeskillere utført som stubbloft. Valg av hulromstørrelse på 98 mm baseres på at hulrom ved stubbloft vil være mindre enn hele bjelkelagshøyden.

Det fremkommer i litteraturstudien, samt erfaringer fra intervjuobjektene at det finnes flere forskjellige typer isolasjonsmaterialer i eldre byggverk. Valg av brennbart fast stoff til de varme forsøkene falt på trespon, siden dette var en type isolasjonsmateriale som ble nevnt av intervjuobjektene og teori (kapittel 2.1.2.2 *Vegger*).

Bacheloroppgaven *INERGEN i verneverdige bygninger* har vært en stor inspirasjonskilde ved valg av størrelse på forsøkskonstruksjonen, målemetoder og utforming og kontrollering av lekkasjearealer. Grunnen til at det ikke ble benyttet samme forsøksoppsett, var at denne oppgaven og bacheloroppgaven har to forskjellige problemstillinger. Forskjellen i problemstilling utgjør viktige forskjeller i forsøkskonstruksjonene, lekkasjer og målepunkter. I tillegg ble det i denne oppgaven gjennomført varme forsøk med brann som gjorde det nødvendig å utføre forsøkene i en brannhall.

De valgte lekkasjescenarioene tar utgangspunkt i lekkasjetall som ligger i intervallet mellom 10-30 luftskift per time. Siden byggverk fra rundt 1920 har lekkasjetall på ca. 15 luftskift per time [32] vurderes det at lekkasjetall på 10-20 luftskift per time er representativt for eldre byggverk. Lekkasjetallene utover 20 luftskift per time er i denne oppgaven definert som høye lekkasjetall og er valgt for å teste kapasiteten til INERGEN-anlegget.

Utløsningen av slokkeanlegget ble ikke utført i henhold til Fire Eater A/S sine standardprosedyrer, som baseres på aktiveringssignal fra to separate detektorer. Fordi det var store variasjoner i brannutvikling og tid til aktivering av røykdetektor, var det nødvendig å oppstille kriterier for når slokkeanlegget skulle utløses. Utløsningsprinsippet for forsøkene i denne oppgaven ble basert på manuell utløsning av anlegget når det var klare indikasjoner på at overgangen fra ulmebrann til flammebrann hadde inntruffet. Det ble besluttet at anlegget ikke skulle utløses før temperaturen i eller rett over tresponen fikk en rask temperaturstigning, og nådde en temperatur på mellom 200 og 250 °C. Det var likevel installert en ionisk røykdetektor i primærrommet for å undersøke om hulromsbrannene ble detektert.

### 5.3.1 Begrensninger i forbindelse med forsøksoppsett og utførelse

Det er gjort en del begrensninger i forbindelse med forsøkene. Følgene av disse blir videre drøftet i kapittel 7 *Diskusjon*.

Forsøkskonstruksjonen er bygget innendørs, hvor forsøkene ikke ble utsatt for ytre påvirkninger som vind, regn og snø. Vind er en faktor som slokkegass er særlig sårbar mot med tanke på

gjennomtrekk og lekkasjer gjennom luftespalter i konstruksjonen. Siden forsøkskonstruksjonen ikke ble utsatt for slike påvirkninger, fikk slokkegassen spre seg uten påvirkning fra over- og undertrykk på konstruksjonen.

Med bakgrunn i at det ikke finnes én universell utforming av hulrom i forskjellige byggverk, er det valgt å generalisere utformingen av hulrommene i forsøksoppsettet. Det er ingen form for isolasjon eller annet fyll i hulrommene. For å danne et grunnlag til videre forskning, ble det besluttet å holde utformingen til hulrommene så enkel og ren så mulig. Dette menes med at forsøkene øker i kompleksitet når hulrommene er fylt, noe som også øker usikkerheten til resultatene. Ved å holde hulrommene fri for isolasjon, får ikke brannen et økt bidrag fra hulromsfyll og det er en større sannsynlighet at resultatene ikke har blitt påvirket av andre faktorer enn slokke- og røykgass.

Vedrørende deteksjon er det gjort noen forenklinger i forbindelse med utførelsen av forsøkene. Normalt vil utløsning av INERGEN-anlegg være basert på signal fra to detektorer, men dette ble ikke fulgt i forsøkene.

Omfanget av forsøkene har blitt begrenset av tilgjengelig tid, ressurser og utstyr. Dette er på grunnlag av at det hadde vært ønskelig og utført flere forsøk som kan bidra til å identifisere usikkerheter ved forsøkene.

## 6 Forsøksresultater

Det ble i forbindelse med de praktiske forsøk utført syv kalde forsøk med INERGEN og 12 varme forsøk, der fire var med utløst INERGEN-anlegg og syv uten. Resultatene for de praktiske forsøk er presentert i de følgende delkapitler, og er inndelt i varme og kalde forsøk, samt for hvert lekkasjescenario. Ved utførelse av forsøkene var temperaturen i brannhallen i intervallet 4-6 °C ved forsøksstart.

### 6.1 Resultater for kalde forsøk

For lekkasjescenario 1-6 ble det utført forsøk med utløst INERGEN-anlegg for å teste hvilken effekt INERGEN-anlegget ville ha på oksygenivået henholdsvis i primærrommet og i utvalgte hulrom i vegg og etasjeskiller. Resultatene er presentert for hvert lekkasjescenario og viser utviklingen i oksygenkonsentrasjon i 20 minutter med oppstart 20 sekunder før utløsning av anlegget.

I tabellene med resultater for lekkasjescenarioer for kalde forsøk blir det presentert tider for når 12,5 vol% O<sub>2</sub>-konsentrasjon oppnås. Denne verdien er satt fordi den inneholder en målenøyaktighet på 0,3 vol% [57] som er lagt på designkonsentrasjonen, som er 12,2 vol%.

Beregning av holdetid er gjort i henhold til NS-EN 15004-1:2008. Designkonsentrasjonen er på 12,2 vol% O<sub>2</sub>. I henhold til standarden må konsentrasjonen ikke må overstige 14,0 vol% O<sub>2</sub> mot slutten av holdetiden.

I hulrommene oppnås det ikke designkonsentrasjon, siden laveste konsentrasjon ligger mellom 13,4 og 14,5 vol%. Holdetiden kan derfor ikke bestemmes. I tabellene er det angitt når det oppnås slokkekonsentrasjon på 15 vol% O<sub>2</sub>, samt tiden for hvor lenge konsentrasjonen holdes under denne slokkekonsentrasjonen. Videre i oppgaven kalles denne tiden "Tid med slokkekonsentrasjon".

#### 6.1.1 Lekkasjescenario 1

Data for lekkasjescenario 1 er oppsummert i Tabell 8 og resultatene er presentert i Figur 20 og Figur 21. Disse resultatene er tallfestet i Tabell 9 og omfatter tid med slokkekonsentrasjon, holdetid, laveste oksygenkonsentrasjon og tiden fra utløsning til 12,5 og 15 vol% oppnås.

Tabell 8 Data for lekkasjescenario 1

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute	Antall åpne hull per rad inne/ute	Lekkasjetall [luftskift/t]
1	1	75,4 cm <sup>2</sup>	75,4 cm <sup>2</sup>	1/1	10,99
2					

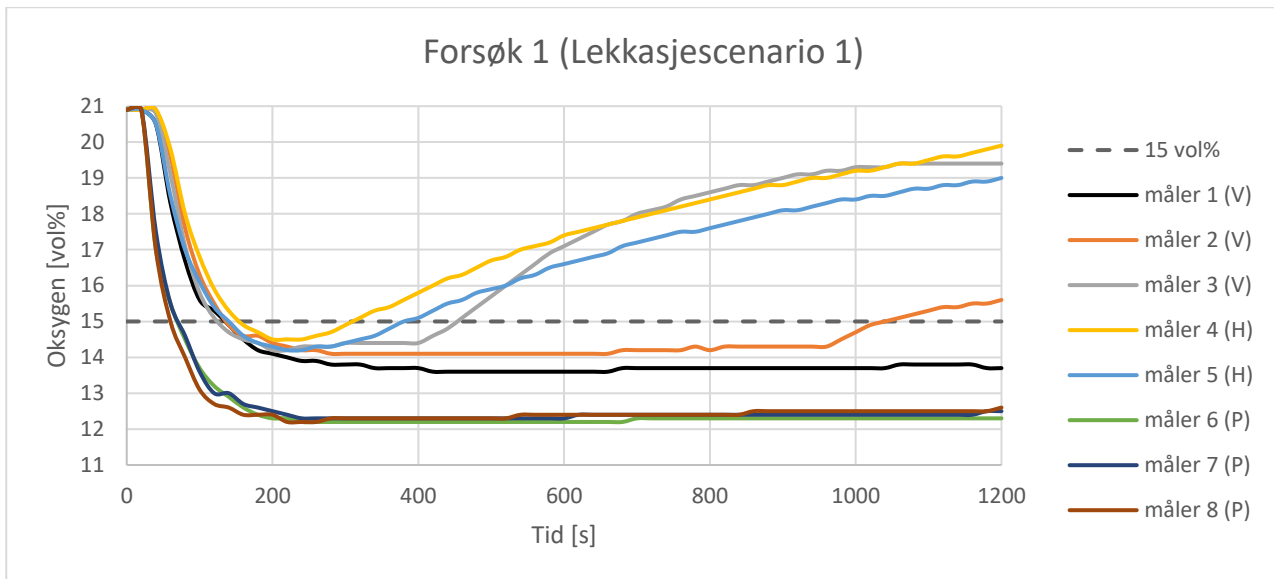
Resultatene viser at oksygenkonsentrasjonen i primærrommet oppnår designkonsentrasjonen på 12,2 vol% og at holdetiden er mer enn 30 minutter for begge forsøk.

Tiden der oksygenkonsentrasjonen er mindre enn 15 vol% varierer med høyden i rommet. Dette kommer tydelig frem i forsøk 1 hvor tiden var over 50 minutter lavt i hulrommet, mens den var kun

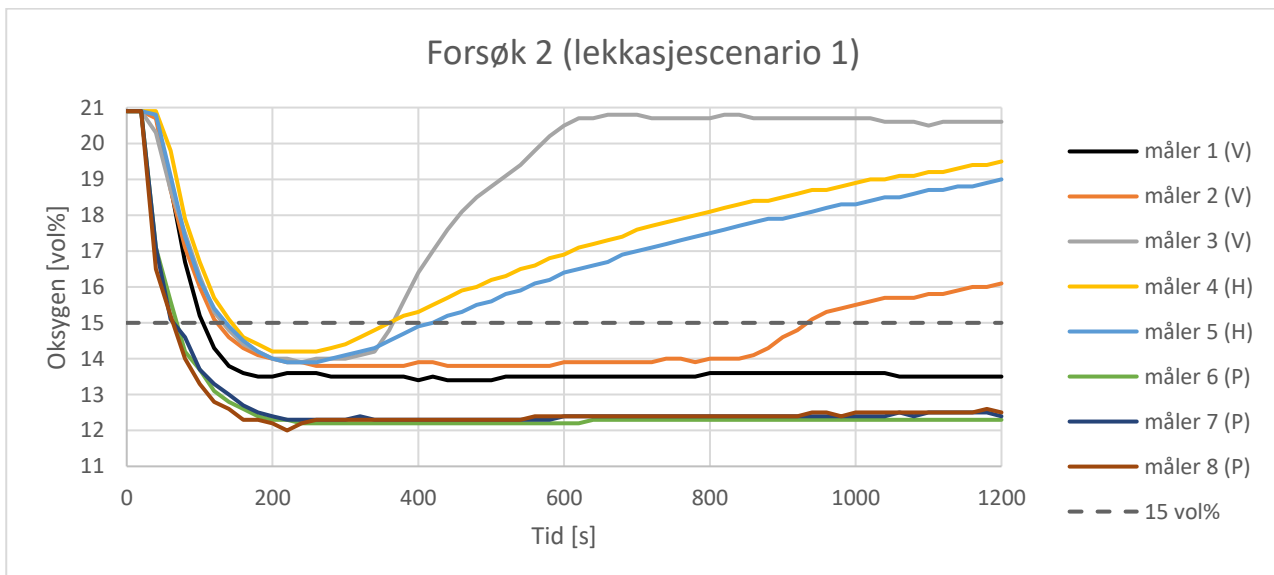
2,6 minutter i etasjeskillet. For forsøk 2 var denne tiden mer enn 36 minutter lavt i hulrommet og 3,6 minutter i etasjeskillet.

For å avdekke usikkerheten til forsøksresultatene ble det første lekkasjescenario utført to ganger med likt lekkasjeareal. Måler 3 som er plassert i vegggen med en høyde på 200 cm fra golvet, gir markant ulike resultater for forsøk 1 og 2. Utviklingen i oksygenkonsentrasjon er lik fra utløsning og frem til ca. 350 sekunder, deretter økes oksygenkonsentrasjonen raskere i forsøk 2.

Sammenlignet med resultatene fra alle kalde forsøk, avviker forsøk 2 fra de øvrige. Usikkerheten til forsøkene vil bli behandlet i kapittel 7.1.3.1 *Vurdering av usikkerheter i kalde forsøk.*



Figur 20 Lekkasjescenario 1, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 1 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)



Figur 21 Lekkasjescenario 1, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 2 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Tabell 9 Resultater for lekkasjescenario 1, forsøk 1 og 2. (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Forsøk nr.	Måler nr.	Designkonsentrasjon (12,2 vol%) og holdetid (NS-EN 15004-1)		Slokkekonsentrasjon (15 vol%) og tid der O <sub>2</sub> -konsentrasjon er mindre enn slokkkonsentrasjon		Laveste O <sub>2</sub> -konsentrasjon [vol%]
		Tid fra utløsning til 12,5 vol% [s]	Holdetid O <sub>2</sub> -konsentrasjon <14 vol% [s]	Tid fra utløsning til 15 vol% [s]	Tid med slokke-konsentrasjon <15 vol% [s]	
1	1 (V)	-	-	120	>3040	13,6
	2 (V)	-	-	120	920	14,1
	3 (V)	-	-	120	320	14,2
	4 (H)	-	-	140	160	14,5
	5 (H)	-	-	120	260	14,2
	6 (P)	160	>2820	60	>2920	12,3
	7 (P)	180	>2800	60	>2920	12,2
	8 (P)	140	>1080	40	>2940	12,3
2	1 (V)	-	-	100	>2200	13,4
	2 (V)	-	-	120	800	13,8
	3 (V)	-	-	120	240	13,9
	4 (H)	-	-	140	220	14,2
	5 (H)	-	-	120	300	13,9
	6 (P)	160	>1800	60	>1900	12,2
	7 (P)	160	>1800	60	>1900	12,3
	8 (P)	140	>1820	60	>1900	12

### 6.1.2 Lekkasjescenario 2

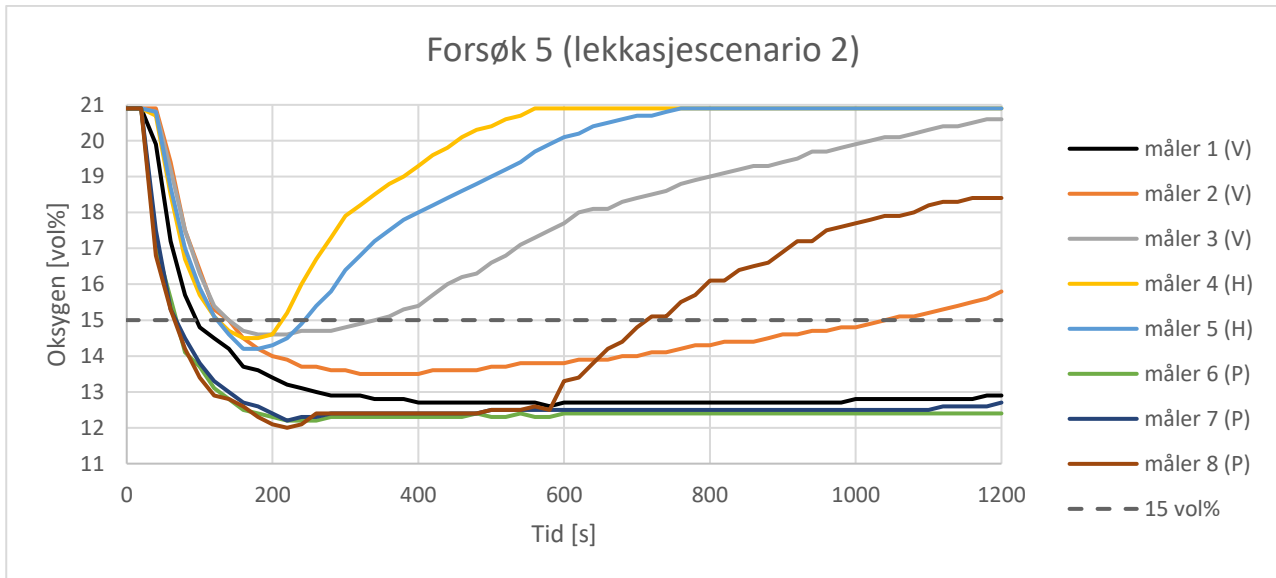
Data for lekkasjescenario 2 er oppsummert i Tabell 10 og resultatene er presentert i Figur 22. Disse resultatene er tallfestet i Tabell 11 og omfatter tid med slokkkonsentrasjon, holdetid, laveste oksygenkonsentrasjon og tiden fra utløsning til 12,5 og 15 vol% oppnås.

Tabell 10 Data for lekkasjescenario 2

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute	Antall åpne hull per rad inne/ute	Lekkasjetall [luftskift/t]
5	2	351,9 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>	5/5	32,66

Resultatene viser at oksygenkonsentrasjonen i primærrommet oppnår designkonsentrasjonen på 12,2 vol%. Holdetiden i primærrommet er mer enn 26 minutter for måler 6 og 7, mens det for måler 8 i 200 cm høyde er en holdetid på 8 minutter. I henhold til NS-EN 15004-1 vil derfor holdetiden for dette lekkasjescenarioet være 8 minutter.

Tiden der oksygenkonsentrasjonen er mindre enn 15 vol% varierte med høyden i rommet, hvor den er mer enn 30 minutter lavt i hulrommet og 1,3 minutt i etasjeskillet.



Figur 22 Lekkasjescenario 2, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 5 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Tabell 11 Resultater for lekkasjescenario 2, forsøk 5. (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Forsøk nr.	Måler nr.	O <sub>2</sub> -designkonsentrasjon (12,2 vol%) og holdetid (NS-EN 15004-1)		O <sub>2</sub> -slokkekonsentrasjon (15 vol%) og tid der O <sub>2</sub> -konsentrasjon er mindre enn slokkekonsentrasjon		Laveste O <sub>2</sub> -konsentrasjon [vol%]
		Tid fra utløsning til 12,5 vol% [s]	Holdetid O <sub>2</sub> -konsentrasjon <14 vol% [s]	Tid fra utløsning til 15 vol% [s]	Tid med slokkekonsentrasjon <15 vol% [s]	
5	1 (V)	-	-	80	>2120	12,6
	2 (V)	-	-	120	920	13,5
	3 (V)	-	-	120	220	14,6
	4 (H)	-	-	120	80	14,5
	5 (H)	-	-	120	120	14,2
	6 (P)	140	>1640	60	>1720	12,2
	7 (P)	180	>1600	60	>1720	12,2
	8 (P)	160	480	60	640	12

### 6.1.3 Lekkasjescenario 3

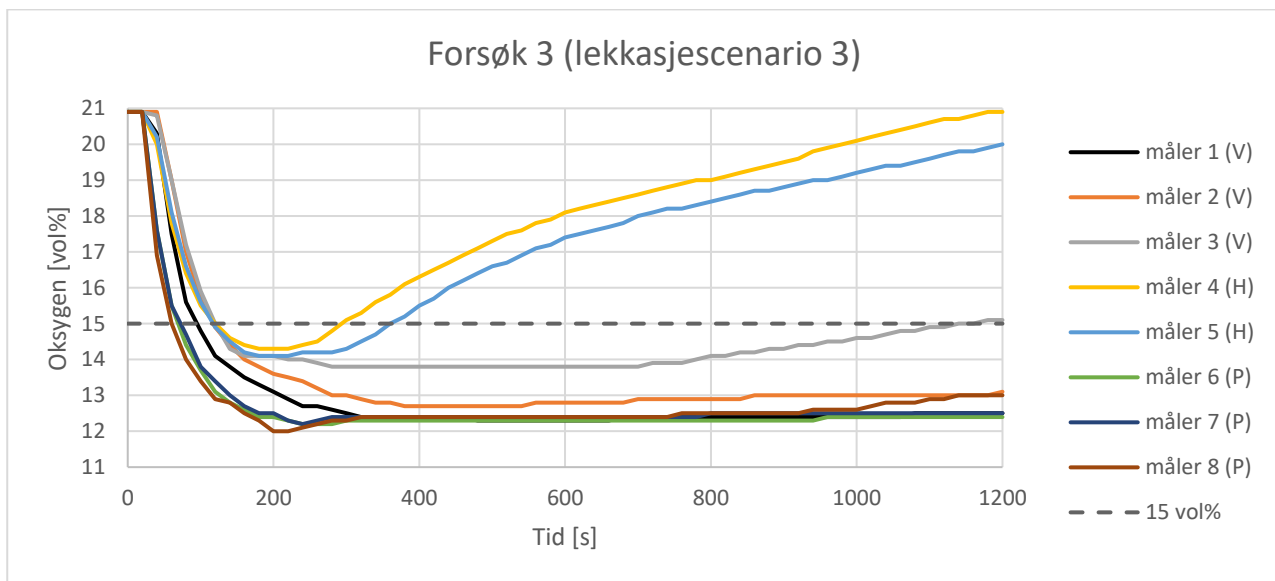
Data for lekkasjescenario 2 er oppsummert i Tabell 12 og resultatene er presentert i Figur 23. Disse resultatene er tallfestet i Tabell 13 og omfatter tid med slokkekonsentrasjon, holdetid, laveste oksygenkonsentrasjon og tiden fra utløsning til 12,5 og 15 vol% oppnås.

Tabell 12 Data for lekkasjescenario 3

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute	Antall åpne hull per rad inne/ute	Lekkasjetall [luftskift/t]
3	3	351,9 cm <sup>2</sup>	75,4 cm <sup>2</sup>	5/1	16,25

Resultatene viser at oksygenkonsentrasjonen i primærrommet oppnår designkonsentrasjonen på 12,2 vol% og at holdetiden i primærrommet er for alle målere lengere enn 16 minutter.

I hulrommene oppnås det designkonsentrasjon for måler 1, som er plassert nederst i vegghulrommet. Samtidig nås det en konsentrasjon på 12,7 vol% for måler 2 midt i vegghulrommet. Tiden med slokkekonsentrasjon i hulrommet er for de to målere mer enn 35 minutter. I etasjeskillet oppnås det en oksygenkonsentrasjon på kun 14,3 vol% og tiden med slokkekonsentrasjon er på bare 3 minutter.



Figur 23 Lekkasjescenario 3, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 3 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)



Tabell 13 Resultater for lekkasjescenario 3, forsøk 3. (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Forsøk nr.	Måler nr.	Designkonsentrasjon (12,2 vol%) og holdetid (NS-EN 15004-1)		Slokkekonsentrasjon (15 vol%) og tid der O <sub>2</sub> -konsentrasjon er mindre enn slokkekonsentrasjon		Laveste O <sub>2</sub> -konsentrasjon [vol%]
		Tid fra utløsning til 12,5 vol% [s]	Holdetid O <sub>2</sub> -konsentrasjon <14 vol% [s]	Tid fra utløsning til 15 vol% [s]	Tid med slokkekonsentrasjon <15 vol% [s]	
3	1 (V)	280	>2060	80	>2260	12,3
	2 (V)	-	-	100	>2240	12,7
	3 (V)	-	-	100	1040	13,8
	4 (H)	-	-	100	180	14,3
	5 (H)	-	-	100	260	14,1
	6 (P)	160	>980	60	>1080	12,2
	7 (P)	160	>1080	60	>1180	12,2
	8 (P)	140	>1080	40	>1180	12

#### 6.1.4 Lekkasjescenario 4

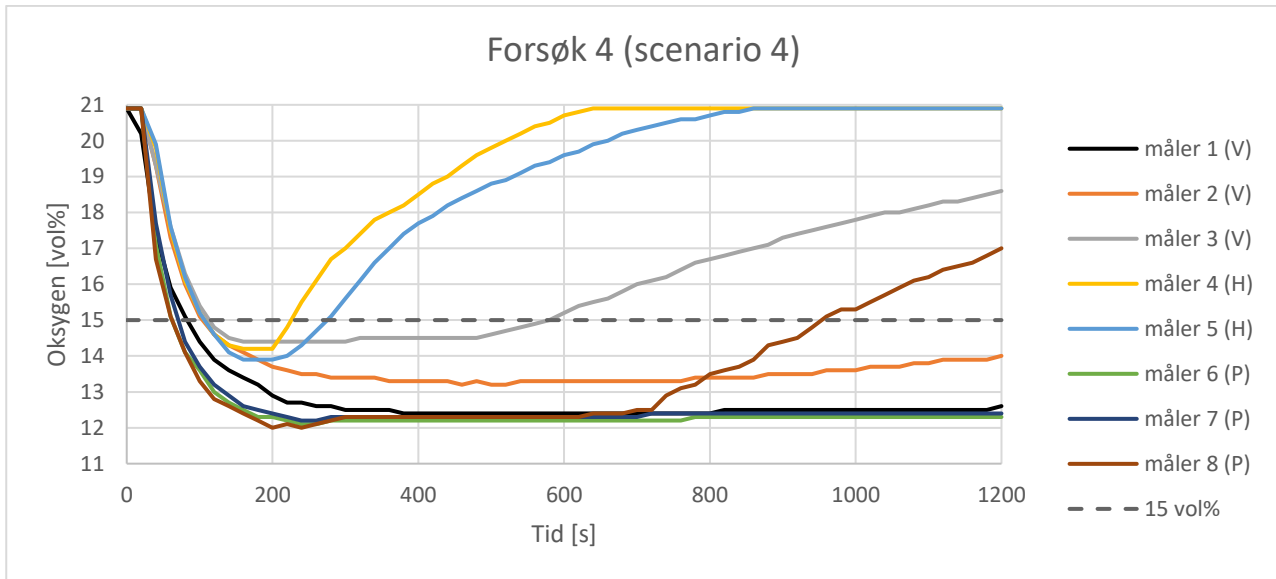
Data for lekkasjescenario 4 er oppsummert i Tabell 14 og resultatene er presentert i Figur 24. Disse resultatene er tallfestet i Tabell 15 og omfatter tid med slokkekonsentrasjon, holdetid, laveste oksygenkonsentrasjon og tiden fra utløsning til 12,5 og 15 vol% oppnås.

Tabell 14 Data for lekkasjescenario 4

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute	Antall åpne hull per rad inne/ute	Lekkasjetall [luftskift/t]
4	4	351,9 cm <sup>2</sup>	226,2 cm <sup>2</sup>	5/3	24,54

Resultatene viser at oksygenkonsentrasjonen i primærrommet oppnår designkonsentrasjonen på 12,2 vol%. Holdetiden i primærrommet er mer enn 27 minutter for måler 6 og 7, mens den er 12 minutter for måler 8 i en høyde på 200 cm.

I hulrommene oppnås det designkonsentrasjon for måler 1, nederst i vegghulrommet. Tiden med slokkekonsentrasjon var her på mer enn 30 minutter og har laveste oksygenkonsentrasjon på 12,4 vol%. For måler 2 og 3 i vegg, samt måler 4 og 5 i etasjeskillet, varierer tiden med slokkekonsentrasjon fra 2-30 minutter sammen med en variasjon på laveste oksygenkonsentrasjon mellom 13,2 og 14,4 vol% O<sub>2</sub>.



Figur 24 Lekkasje scenario 4, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 4 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Tabell 15 Resultater for lekkasje scenario 4, forsøk 4. (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Forsøk nr.	Måler nr.	Designkonsentrasjon (12,2 vol%) og holdetid (NS-EN 15004-1)		Slokkekonsentrasjon (15 vol%) og tid der O <sub>2</sub> -konsentrasjon er mindre enn slokkekonsentrasjon		Laveste O <sub>2</sub> -konsentrasjon [vol%]
		Tid fra utløsning til 12,5 vol% [s]	Holdetid O <sub>2</sub> -konsentrasjon <14 vol% [s]	Tid fra utløsning til 15 vol% [s]	Tid med slokke-konsentrasjon <15 vol% [s]	
4	1 (V)	280	>1820	80	>2020	12,4
	2 (V)	-	-	100	1840	13,2
	3 (V)	-	-	100	480	14,4
	4 (H)	-	-	100	120	14,2
	5 (H)	-	-	100	160	13,9
	6 (P)	140	>1640	60	>1720	12,1
	7 (P)	160	>1620	60	>1720	12,2
	8 (P)	140	720	60	860	12

### 6.1.5 Lekkasjescenario 5

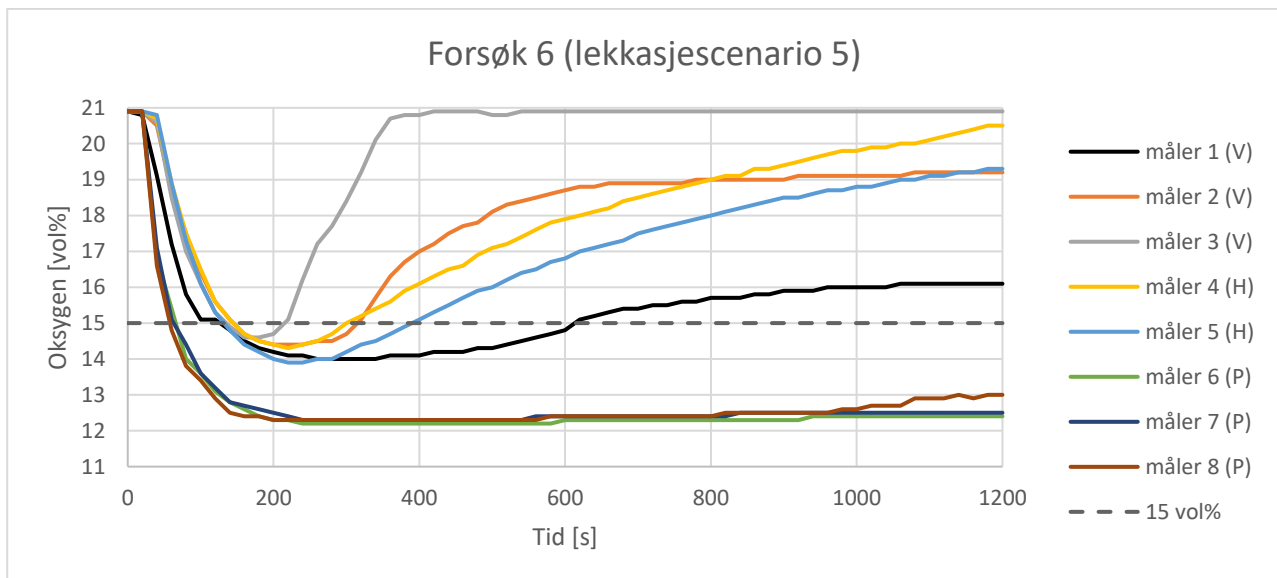
Data for lekkasjescenario 5 er oppsummert i Tabell 16 og resultatene er presentert i Figur 25. Disse resultatene er tallfestet i Tabell 17 og omfatter tid med slukkekonsentrasjon, holdetid, laveste oksygenkonsentrasjon og tiden fra utløsning til 12,5 og 15 vol% oppnås.

Tabell 16 Data for lekkasjescenario 5

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute	Antall åpne hull per rad inne/ute	Lekkasjetall [luftskift/t]
6	5	75,4 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>	1/5	13,42

Resultatene viser at oksygenkonsentrasjonen i primærrommet oppnår designkonsentrasjonen på 12,2 vol%. Holdetiden i primærrommet var mer enn 17 minutter.

I hulrommene oppnås det ikke designkonsentrasjon, siden laveste konsentrasjon i vegg og etasjeskillet ligger mellom 13,9 og 14,6 vol% O<sub>2</sub>. Holdetiden kan derfor ikke bestemmes i hulrommene. I tabellen er det angitt når slukkekonsentrasjon går under 15 vol% O<sub>2</sub>, og tiden konsentrasjonen holdes under slukkekonsentrasjonen. Tiden der oksygenkonsentrasjonen er mindre enn 15 vol% varierer mellom 1,3-8 minutter, avhengig av høyden i rommet.



Figur 25 Lekkasjescenario 5, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 6 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Tabell 17 Resultater for lekkasjescenario 5, forsøk 6. (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Forsøk nr.	Måler nr.	Designkonsentrasjon (12,2 vol%) og holdetid (NS-EN 15004-1)		Slokkekonsentrasjon (15 vol%) og tid der O <sub>2</sub> -konsentrasjon er mindre enn slokkekonsentrasjon		Laveste O <sub>2</sub> -konsentrasjon [vol%]
		Tid fra utløsning til 12,5 vol% [s]	Holdetid O <sub>2</sub> -konsentrasjon <14 vol% [s]	Tid fra utløsning til 15 vol% [s]	Tid med slokke-konsentrasjon <15 vol% [s]	
6	1 (V)	-	-	120	480	14
	2 (V)	-	-	140	160	14,4
	3 (V)	-	-	120	80	14,6
	4 (H)	-	-	140	160	14,3
	5 (H)	-	-	120	260	13,9
	6 (P)	160	>3420	60	>3520	12,2
	7 (P)	180	>1020	60	>3520	12,2
	8 (P)	120	>1080	40	>1200	12,3

### 6.1.6 Lekkasjescenario 6

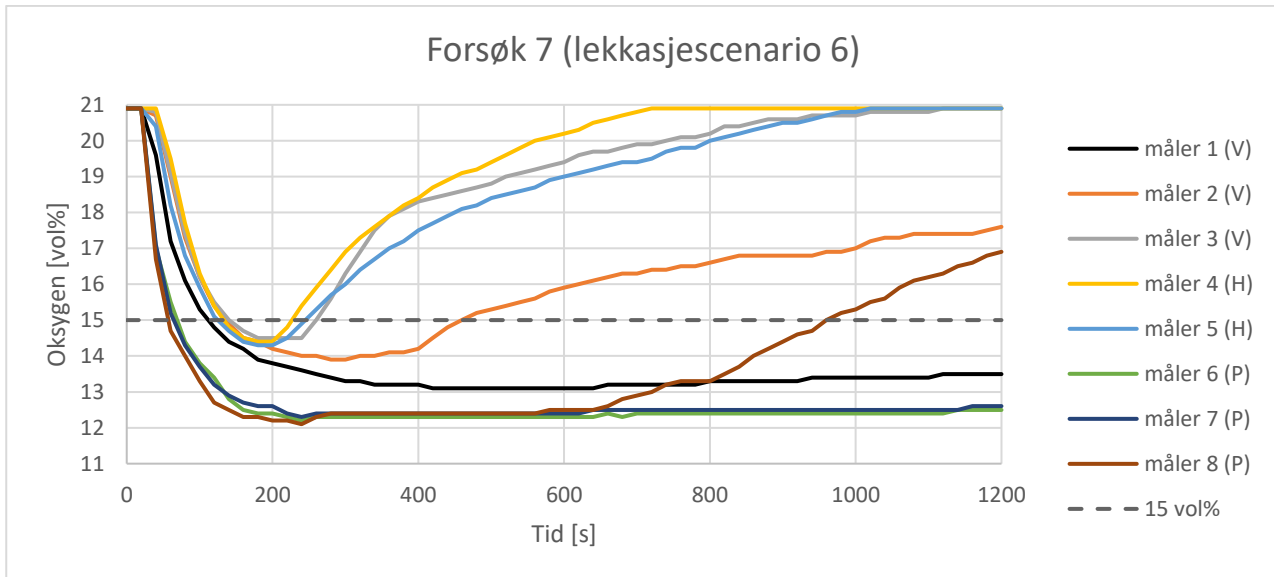
Data for lekkasjescenario 6 er oppsummert i Tabell 18 og resultatene er presentert i Figur 26. Disse resultatene er tallfestet i Tabell 19 og omfatter tid med slokkekonsentrasjon, holdetid, laveste oksygenkonsentrasjon og tiden fra utløsning til 12,5 og 15 vol% oppnås.

Tabell 18 Data for lekkasjescenario 6

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne	Lekkasjeareal ute	Antall åpne hull per rad inne/ute	Lekkasjetall [luftskift/t]
7	6	226,2 cm <sup>2</sup>	351,9 cm <sup>2</sup>	3/5	26,43

Resultatene viser at oksygenkonsentrasjonen i primærrommet oppnår designkonsentrasjonen på 12,2 vol%. Holdetiden i primærrommet er mer enn 26 minutter for måler 6 og 7, mens den er kun 12 minutter for måler 8 i en høyde på 200 cm.

I hulrommene oppnås det ikke designkonsentrasjon, siden laveste konsentrasjon ligger mellom 13,1 og 14,5 vol%. Holdetiden kan derfor ikke bestemmes i hulrommene. I Tabell 19 er det angitt når oksygenkonsentrasjonen går under 15 vol% O<sub>2</sub>, og tiden konsentrasjonen holdes under slokkekonsentrasjonen. Tiden der oksygenkonsentrasjonen er mindre enn 15 vol% varierer mellom 1,6-27 minutter, avhengig av høyden i rommet.



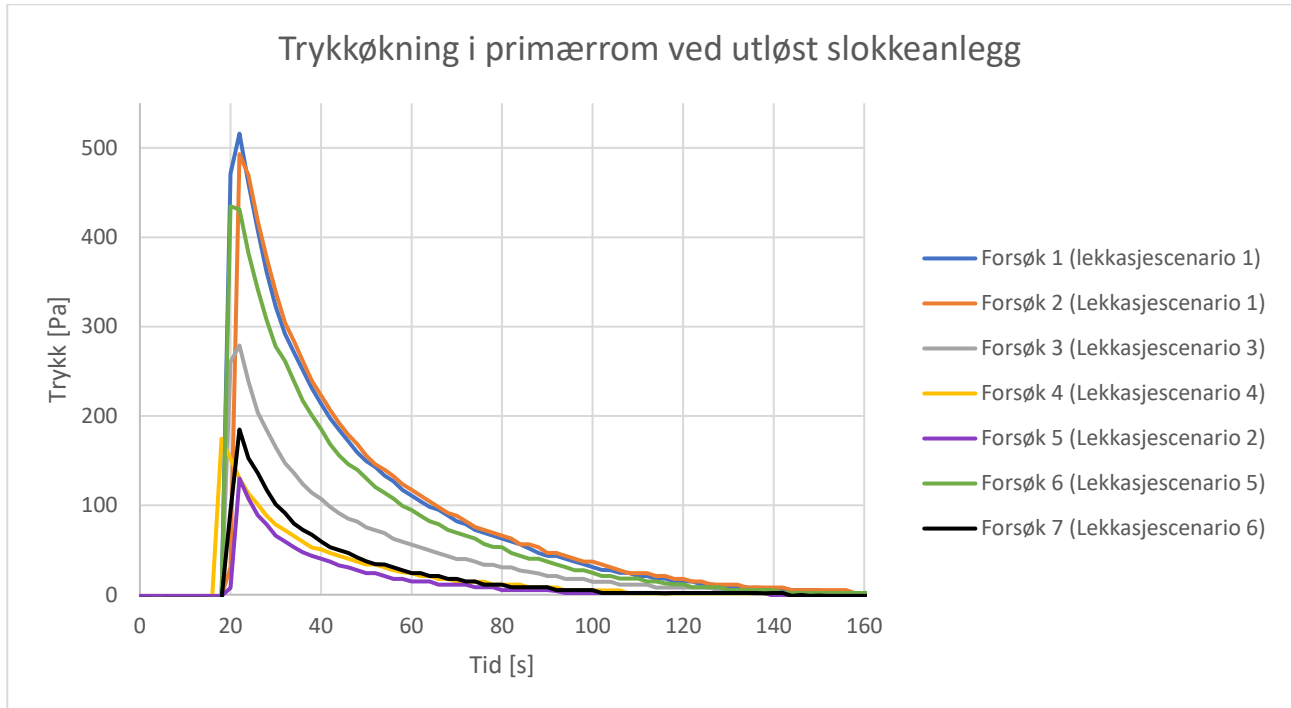
Figur 26 Lekkasjescenario 6, grafisk fremstilling av oksygenmålinger i forsøk 7 (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Tabell 19 Resultater for lekkasjescenario 6, forsøk 7. (V: vegg, H: himling, P: primærrom)

Forsøk nr.	Måler nr.	Designkonsentrasjon (12,2 vol%) og holdetid (NS-EN 15004-1)		Slokkekonsentrasjon (15 vol%) og tid der O <sub>2</sub> -konsentrasjon er mindre enn slokkekonsentrasjon		Laveste O <sub>2</sub> -konsentrasjon [vol%]
		Tid fra utløsning til 12,5 vol% [s]	Holdetid O <sub>2</sub> -konsentrasjon <14 vol% [s]	Tid fra utløsning til 15 vol% [s]	Tid med slokke-konsentrasjon <15 vol% [s]	
7	1 (V)	-	-	100	>1640	13,1
	2 (V)	-	-	120	340	13,9
	3 (V)	-	-	120	140	14,5
	4 (H)	-	-	120	100	14,4
	5 (H)	-	-	120	120	14,3
	6 (P)	140	>1640	60	>1720	12,3
	7 (P)	200	>1580	60	>1720	12,3
	8 (P)	120	740	60	900	12,1

### 6.1.7 Trykkøkning i primærrom

I forbindelse med utførelse av kalde forsøk ble det foretatt trykkmålinger i primærrommet, for å avdekke trykkøkningen i forbindelse med utløst INERGEN-anlegg. Anlegget er dimensjonert for et maksimalt trykk på 500 Pa. Resultatene for trykkøkningen i forsøk 1-7 er presentert i Figur 27 og maksimaltrykket er gjengitt i Tabell 20. Resultatene viser at trykkøkningen blir mindre når lekkasjetallet øker.



Figur 27 Trykkøkning i primærrom ved utløst slokkeanlegg

Tabell 20 Maksimal trykkøkning i primærrom ved utløst slokkeanlegg

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjetall [luftskift/time]	Maksimal trykkøkning [Pa]
1	1	10,99	516
2	1	10,99	493
3	3	16,25	279
4	4	24,54	175
5	2	32,66	130
6	5	13,42	435
7	6	26,43	185

## 6.2 Varme forsøk

Det ble i alt utført 12 varme forsøk, fire forsøk med utløsning av INERGEN, syv forsøk uten utløsning av INERGEN og én referansebrann i det fri. I dette kapitlet presenteres forsøkene angitt i Tabell 21.

Tabell 21 Oversikt over varme forsøk

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne/ute	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]
8	Referansebrann	-	Nei	-
12	2	351,9 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Nei	810
13	2	351,9 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Ja	592
14	3	351,9 cm <sup>2</sup> /75,4 cm <sup>2</sup>	Nei	1076
15	3	351,9 cm <sup>2</sup> /75,4 cm <sup>2</sup>	Ja	434
17	5	75,4 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Nei	1000
18	5	75,4 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Ja	-

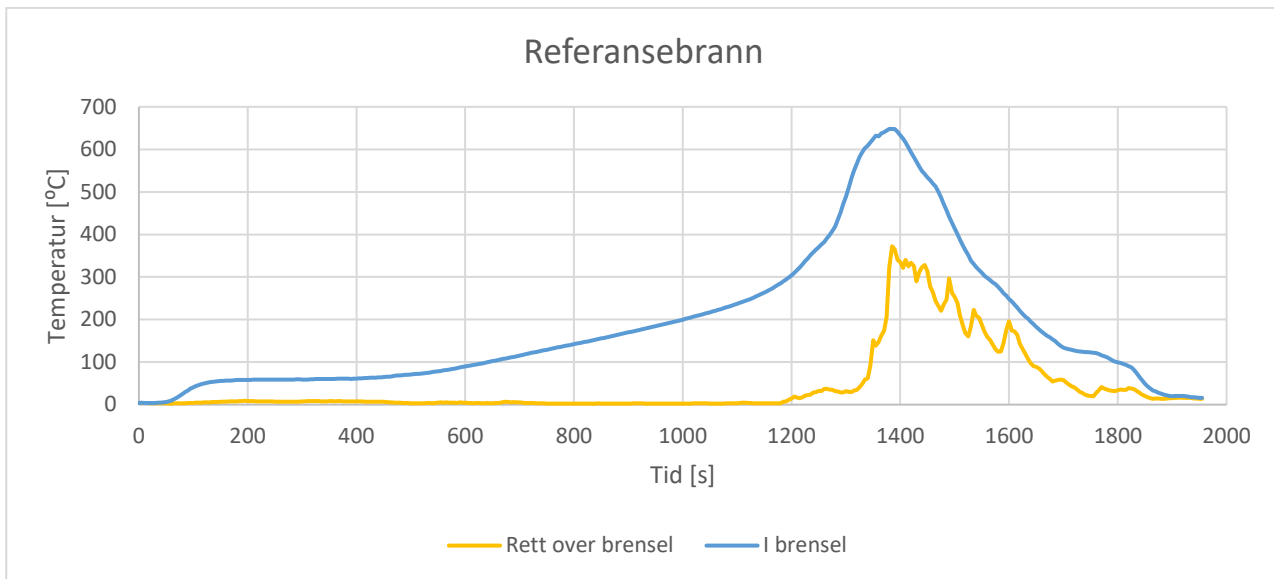
### 6.2.1 Røykdeteksjon og utløsning av INERGEN-anlegg

Resultater for deteksjon med røykdetektor er vist i Tabell 21, og viser at det innen samme lekkasjescenario er store forskjeller i deteksjonstiden. Visuelle observasjoner i primærrommet viste også at det var relativt stor forskjell i sikt når røykdetektoren utløste. For scenario 2 utløste røykdetektoren i intervallet mellom 10 og 13,5 minutter og for scenario 3 var utløsningstiden mellom 7 og 18 minutter. Tid til deteksjon for scenario 5 var 16,6 minutter for forsøk 17, mens det ikke var utløst røykdetektor for forsøk 18 siden INERGEN-anlegget ble utløst etter 16,5 minutter.

I forsøk 16 og 19 var det planlagt å utløse anlegget, men siden det ikke ble en rask temperaturøkning, ble ikke anlegget løst ut. Grafer for disse forsøk kan ses i *Vedlegg C*.

### 6.2.2 Referansebrann

Det ble utført en referansebrann av forsøksoppsettet med trespon ute i det fri. Formålet med forsøket var å avdekke brannutviklingen når brannen var brenselskontrollert og ikke ventilasjonsstyrt. Resultater for forsøket er presentert i Figur 28. Resultatet viser at temperaturen i brenselet stiger jevnt frem til ca. 20 minutter etter brannstart, på dette tidspunktet observeres første flamme i brenselet, og temperaturen i brensel og over brannen stiger raskt. Det brennbare materialet var brent opp etter ca. 30 minutter.



Figur 28 Referansebrann, temperaturmålinger for brann i det fri

### 6.2.3 Lekkasjescenario 2

Data for lekkasjescenario 2 er oppsummert i Tabell 22. Resultater for forsøk 12 uten INERGEN-utløsning er presentert i Figur 29, og resultater for forsøk 13 med INERGEN-utløsning er presentert i Figur 30.

Tabell 22 Data for Lekkasjescenario 2, varme forsøk

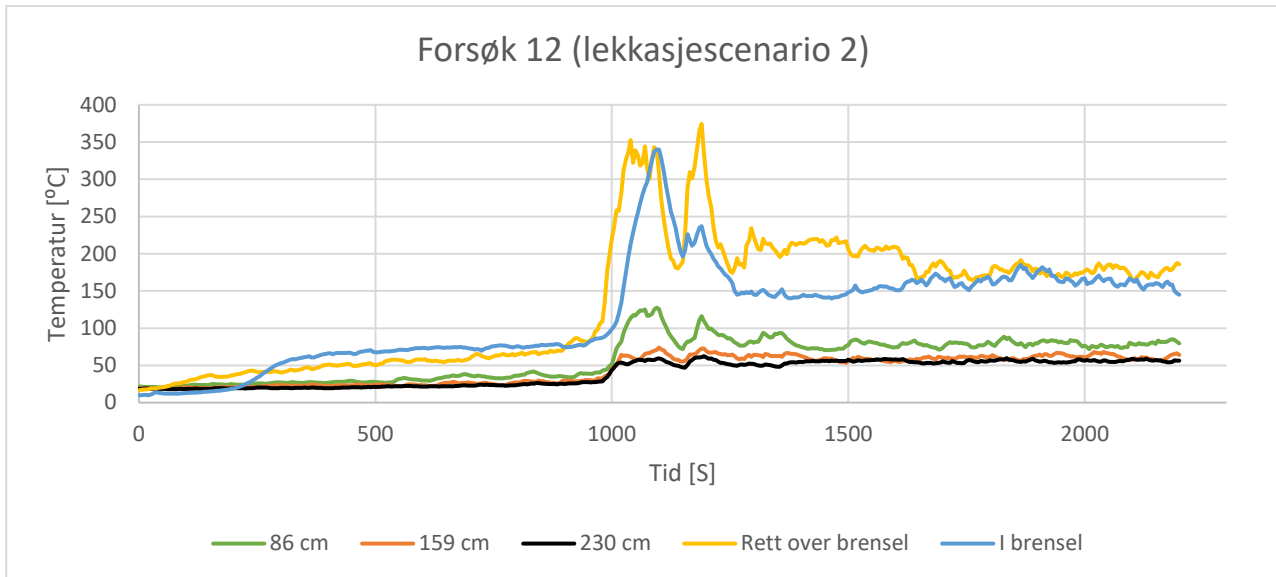
Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne/ute	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]
12	2	351,9 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Nei	810
13	2	351,9 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Ja	592

Resultatene for forsøk 12 i Figur 29 viser en sakte økning i temperatur i begynnelsen, hvor temperaturen stabiliseres ved rundt 70 °C i brenselet og rett over brenselet. Etter 16 minutter skjer det en rask brannutvikling som når en temperaturopp på ca. 350 °C. Temperaturen varierer frem til 20 minutter etter brannstart mellom 200 og 350 °C, før temperaturen etter hvert stabiliseres rundt ca. 180 °C. Temperaturen 86 cm over brannen i hulrommet ligger på omtrent 117 °C, noe som er markant lavere enn temperaturen ved brannen.

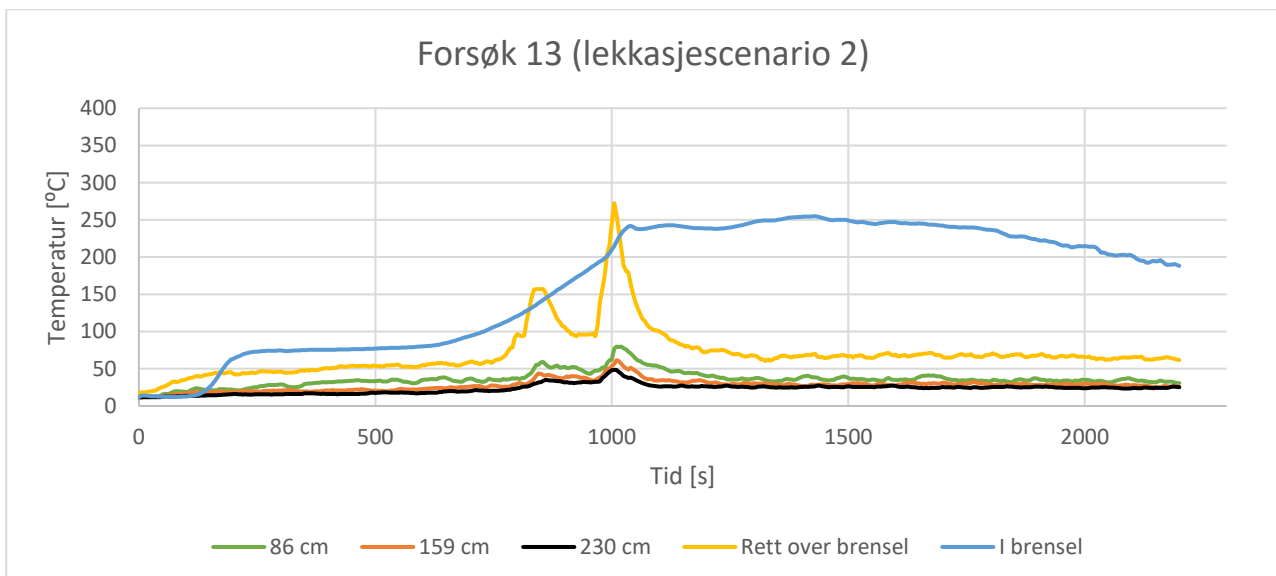
Resultatene for forsøk 13 i Figur 30 viser at temperaturutviklingen i brenselet ikke var like bratt som i forsøk 12. Over brenselet øker temperaturen sakte, innen det etter 14 minutter oppstår en lokal temperaturøkning og -fall. Etter 16 minutter skjer en rask økning i temperaturen rett over brannen, og INERGEN-anlegget utløses etter 16,9 minutter ved 250 °C. Etter utløsning ses et raskt fall i temperatur over brannen og i resten av hulrommet, mens temperaturen i brenselet holdes konstant omkring 250 °C frem til ca. 30 minutter etter brannstart.

Forsøk 13 er det eneste forsøk der det ikke observeres en temperaturreduksjon i brenselet. For de øvrige termoelementer observeres det en markant reduksjon i temperatur.





Figur 29 Temperaturmålinger for lekkasjescenario 2, forsøk 12



Figur 30 Temperaturmålinger for lekkasjescenario 2, forsøk 13

### 6.2.4 Lekkasjescenario 3

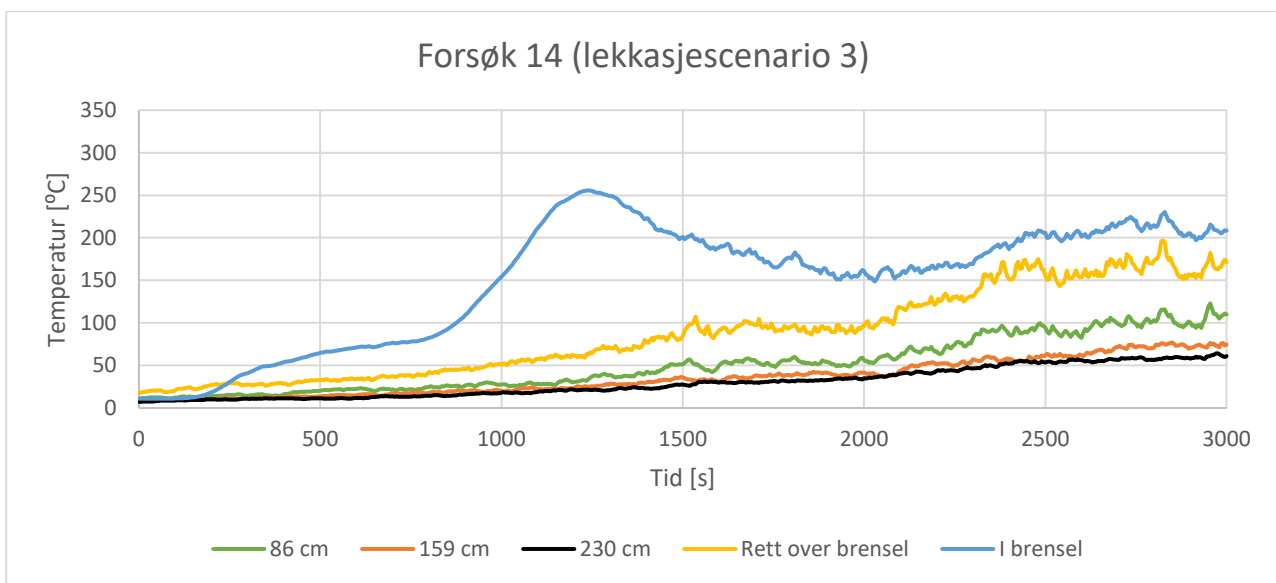
Data for lekkasjescenario 3 er oppsummert i Tabell 23. Resultater for forsøk 14 uten INERGEN-utløsning er presentert i Figur 31, og resultater for forsøk 15 med INERGEN-utløsning er presentert i Figur 32.

Tabell 23 Data for Lekkasjescenario 3, varme forsøk

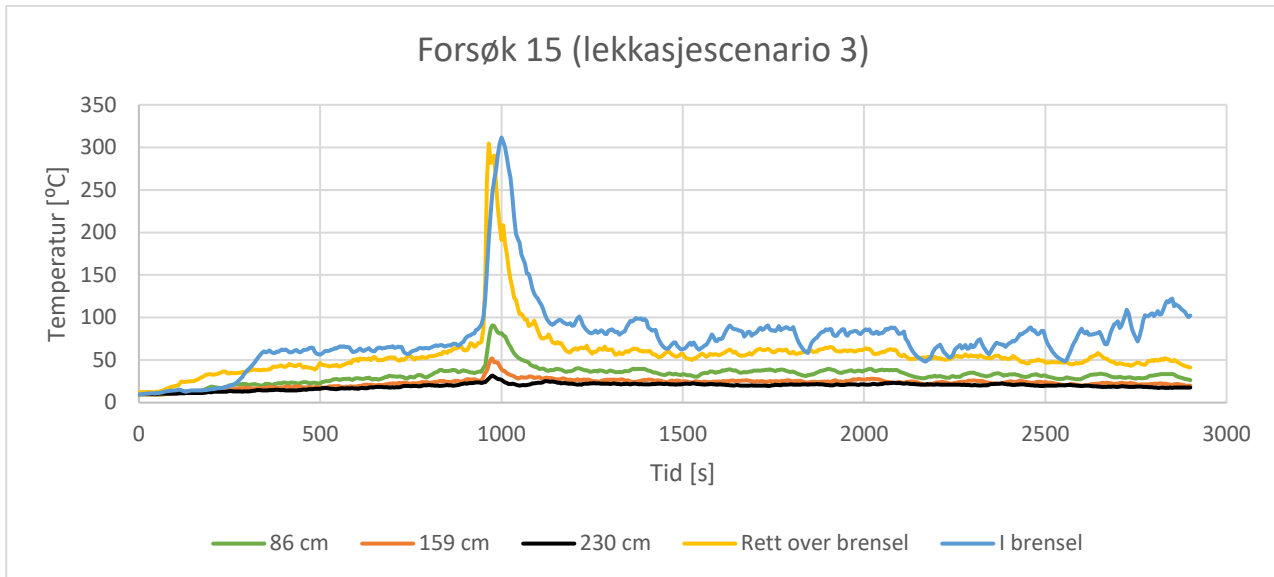
Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne/ute	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]
14	3	351,9 cm <sup>2</sup> /75,4 cm <sup>2</sup>	Nei	1076
15	3	351,9 cm <sup>2</sup> /75,4 cm <sup>2</sup>	Ja	434

Resultatene for forsøk 14 i Figur 31 viser en sakte økning i temperatur der den var 82 °C i brenselet og 50 °C rett over brenselet ved 13,5 minutter. Etter dette punktet skjer brannutviklingen raskere frem til en temperaturtopp på temperatur på 250 °C i brenselet etter 20,5 minutter. Fra 25 minutter og frem til 50 minutter varierer temperaturen i brenselet mellom 150 og 220 °C. Temperaturen rett over brannen stiger jevnt frem til 38 minutter etter brannstart, hvor den stabiliseres ved rundt 170 °C.

Resultatene for forsøk 15 i Figur 32 viser en sakte økning i temperatur der den var 86 °C i brenselet og 82 °C rett over brenselet etter 15,8 minutter. Deretter skjedde en rask økning i temperaturen, og INERGEN-anlegget ble utløst etter 16,25 minutter ved en temperatur på 250 °C. Etter utløsning når temperaturen å stige til 300 °C, før temperaturen fikk et raskt fall i både brensel og rett over brenselet og ble stabilisert rundt henholdsvis 80 og 60 °C.



Figur 31 Temperaturmålinger for lekkasjeszenario 3, forsøk 14



Figur 32 Temperaturmålinger for lekkasjescenario 3, forsøk 15

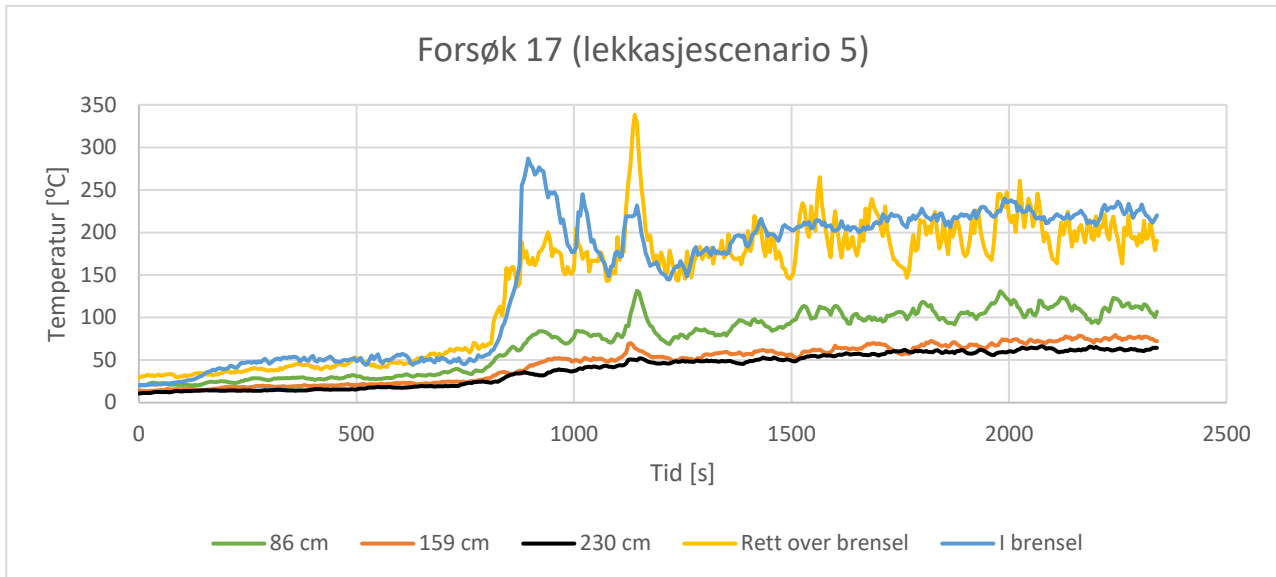
Data for lekkasjescenario 3 er oppsummert i Tabell 24. Resultater for forsøk 17 uten INERGEN-utløsning er presentert i Figur 33, og resultater for forsøk 18 med INERGEN-utløsning er presentert i Figur 34.

Tabell 24 Data for Lekkasjescenario 5, varme forsøk

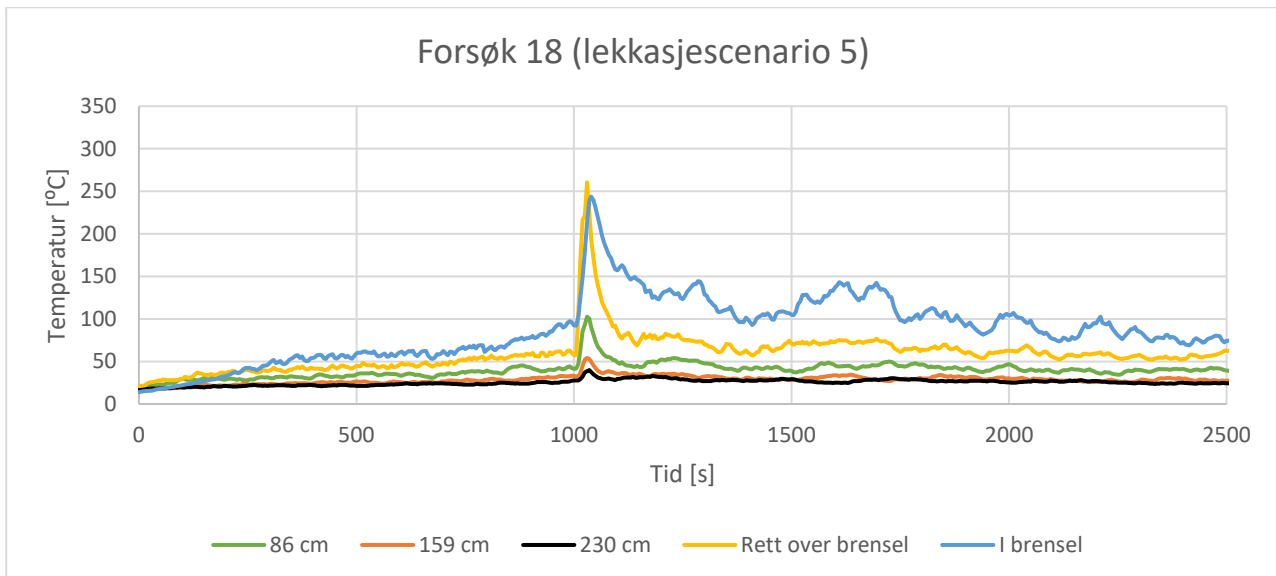
Forsøk nr.	Lekkasjescenario	Lekkasjeareal inne/ute	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]
17	5	75,4 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Nei	1000
18	5	75,4 cm <sup>2</sup> /351,9 cm <sup>2</sup>	Ja	-

Resultatene for forsøk 17 i Figur 33 viser en sakte økning i temperatur der den var 62 °C i brenselet og rett over brenselet ved 13,6 minutter. Etter dette punktet skjer brannutviklingen raskt opp til omkring 280 °C i brenselet og 200 °C rett over brenselet. Etter 15 minutter varierer temperaturen mellom 150 og 250 °C, med unntak av en enkelt topp for temperaturen rett over brenselet på 329 °C.

Resultatene for forsøk 18 i Figur 34 viser en sakte økning i temperatur der den var 92 °C i brenselet og 57 °C rett over brenselet ved 16,6 minutter. Deretter skjedde en rask økning i temperaturen, og INERGEN-anlegget ble utløst etter 17,3 minutter ved en temperatur på 250 °C. Etter utløsning ble det observert et raskt fall i temperatur både i brensel og rett over brenselet. Temperaturen i brenselet fluktuerer deretter mellom 100 og 150 °C, mens temperaturen rett over brenselet stabiliseres omkring 75 °C. 30 minutter etter brannstart har temperaturen for begge temperaturmålere sunket til under 100 °C.



Figur 33 Temperaturmålinger for lekkasjescenario 5, forsøk 17



Figur 34 Temperaturmålinger for lekkasjescenario 5, forsøk 18

### 6.2.5 Massetap

Data for massetap av trespon og stearin er presentert Tabell 25. Fargene i tabellen viser forsøkene som har samme lekkasjescenario, og dermed kan sammenlignes med hverandre.

Data fra forsøk 12 mangler fordi det ble glemt å gjøre en vektmåling av forsøksoppsettet etter forsøket. Dette betyr at det ikke foreligger et sammenligningsgrunnlag for massetapet til lekkasjescenario 2.

Resultatene fra forsøk 14 og 15 viser massetap for lekkasjescenario 3. Det totale massetapet er nesten dobbelt så stort i forsøk 14, der INERGEN-anlegget ikke ble utløst, sammenlignet med

forsøk 15. Massetapet for stearin er nesten fem ganger høyere i forsøk 14, noe som indikerer at faklene var tent gjennom hele forsøket. I forsøk 15 ble faklene sløkket av INERGEN-gassen. Massetap for tresponen følger en lignende trend, men har ikke en like signifikant forskjell som for stearinen. I forsøk 14 ble 97,3 gram trespon oppbrent, mens i forsøk 15 ble 81,3 gram oppbrent. I tillegg var massetapet per minutt 1,59 gram lavere for forsøk 15, sammenlignet med forsøk 14.

Resultatene fra forsøk 17 og 18 viser massetap for lekkasjescenario 5. Det totale massetapet er 1,4 ganger høyere i forsøk 17, der INERGEN-anlegget ikke ble utløst, sammenlignet med forsøk 18. Massetap for stearin er over tre ganger større i forsøk 17, noe som indikerer på at faklene var tent gjennom hele forsøket. I forsøk 18 ble faklene slukket av INERGEN-gassen. Massetap for tresponen er noe høyere i forsøk 18, enn i forsøk 17. I forsøk 17 ble 80,2 gram av totalt 100 gram trespon oppbrent, mens i forsøk 18 ble 87,6 gram oppbrent. I tillegg var massetapet per minutt 1,38 gram lavere for forsøk 18, sammenlignet med forsøk 17.

Tabell 25 Massetap av trespon og stearin

Forsøk	Massetap totalt [g]	Massetap stearin [g]	Massetap trespon [g]	Massetap per minutt [g/min]	INERGEN ja/nei
Forsøk 12	-	-	-	-	Nei
Forsøk 13	58,8	10,9	47,9	1,68	Ja
Forsøk 14	195,9	98,6	97,3	3,7	Nei
Forsøk 15	99,3	18	81,3	2,11	Ja
Forsøk 17	151,9	71,7	80,2	3,8	Nei
Forsøk 18	108,9	21,3	87,6	2,42	Ja

Bilde 12 er tatt like etter åpning av kassen i forbindelse med avslutning av forsøk 17. Bildet viser en tydelig flammebrann der både faklene og tresponen deltar i forbrenningen. For alle forsøk uten utløst INERGEN-anlegg ble det observert at både fakler og trespon fortsatt brant rett etter åpning av hulrommet.



Bilde 12 Bilde av forsøk 17 etter gjennomført forsøk

Bilde 13 er tatt like etter åpning av kassen i forbindelse med avslutning av forsøk 18. Bildet viser at det brannen i både faklene og trespon er sløkket. Det er fortsatt en del trespon som er uforbrent. Rett etter forsøksoppsettet ble tatt ut av hulrommet, blusset brannen i tresponen opp igjen grunnet økt oksygentilgang. Reantennning av tresponen etter forsøksoppsettet ble tatt ut av hulrommet var en gjentakende trend for alle forsøk med utløst INERGEN-anlegg.



Bilde 13 Bilder av forsøk 18 etter gjennomført forsøk

## 7 Diskusjon

Diskusjonen omfatter drøfting av resultater og forsøksoppsett, samt en sammenligning av INERGEN-anlegg mot andre brannsløkkeanlegg. Avslutningsvis i kapittelet er det en oppsummering av hypotesene og forslag til videre arbeid.

### 7.1 Resultatdrøfting

I dette delkapitlet vil resultatene fra de varme og kalde forsøkene bli drøftet med hensyn til oppgavens begrensninger. Noen resultater vil bli diskutert i sammenheng med teori samt funn fra litteraturstudie og kvalitativ kartlegging.

I diskusjonen vil forkortelsene LT og LA brukes for henholdsvis lekkasjetall og lekkasjeareal. For å presentere lekkasjescenarioene oversiktlig er det i diskusjonen valgt følgende fremstilling: Lekkasjescenario *nummer* (LT: *verdi* | LA: *verdi innvendig platesjikt/verdi utvendig platesjikt*).

#### 7.1.1 Sammenligning av lekkasjescenarioer kalde forsøk

##### 7.1.1.1 Holdetid i primærrom

I henhold til hypotesen ble det forventet at holdetiden ville variere med høyden og være kortere i etasjeskillet enn i vegghulrommet. Det ble forventet at sløkkeanlegget vill ha størst utfordringer med å tilfredsstille krav til holdetid ved store lekkasjetall, samt konfigurasjoner med større lekkasjearealer ut av hulrommet enn inn. I motsetning ble det forventet at beste lekkasjescenario var ved store lekkasjearealer inn i hulrommet og mindre arealer ut.

Resultatene viser at krav til designkonsentrasjon og holdetid i primærrommet oppfylles selv med lekkasjetall på opptil 26,43 luftskift per time. Dette samsvarer ikke med hypotesen om at kravet til holdetiden i primærrommet ikke ville tilfredsstilles ved lekkasjetall over 20 luftskift per time. Det eneste lekkasjescenario der det ikke oppnås 10 minutters holdetid er i lekkasjescenario 2, med lekkasjetall på 32,66 luftskift per time.

I IMT-beregningen er ikke anlegget dimensjonert for et spesifikt lekkasjetall, men med en minste nødvendige avlastningsflate på 40,4 cm<sup>2</sup>. Avlastningsflaten svarer til omtrent halvparten av minste lekkasjeareal undersøkt i oppgaven. Anlegget er i utgangspunktet ikke dimensjonert for større lekkasjearealer enn avlastningsflaten, men det er i designkonsentrasjonen tillagt en standard sikkerhetsfaktor som kan gi en buffer mot ytterligere lekkasje. Utforming og plassering av lekkasjeareal kan ha betydning for holdetiden, dette vil videre bli behandlet under 7.2.1 *Forsøkskonstruksjon*.

I bacheloroppgaven *INERGEN i verneverdige bygninger* var anlegget, som i denne oppgaven, ikke dimensjonert for ytterligere lekkasjeareal enn avlastningsflaten. Det ble i bacheloroppgaven ikke oppnådd designkonsentrasjon, noe som i konklusjonen begrunnes med høye lekkasjetall. Resultatene i denne oppgaven og bacheloroppgaven samsvarer ikke, noe som kan skyldes at lekkasjearealene i denne oppgaven er jevnere fordelt. En annen forklaring kan være at det i denne oppgaven benyttes flere, men mindre hull enn i bacheloroppgaven. Dette vil kunne gi en større motstand mot utstrømningen i form av friksjon, noe som kan være gunstig med tanke på opprettholdelsen av gass.

Målinger fra øverst i primærrommet for lekkasjeszenario 2 (LT: 32,66 | LA: 351,9/351,9) gir kun en holdetid på åtte minutter. Grunnet det høye lekkasjetallet og gassens massetetthet, var det forventet at oksygenkonsentrasjonen ville stige i øvre deler av primærrommet på et tidlig tidspunkt. En uventet observasjon er at grafen til måleren midt i rommet var stabilt lav gjennom hele forsøket. Det var forventet at denne måleren ville få en mer tydelig stigning i oksygenkonsentrasjon på et tidligere tidspunkt, tilsvarende måleren øverst i rommet. Dette kan forklares med at det ikke er overtrykk i rommet en stund etter utløst anlegg, noe som medfører at gassen er forholdsvis stillestående. En følge av dette kan være at gassen i større grad vil synke og sive ut lavt i rommet. I et virkelig scenario med vindpåvirkning kunne resultatene blitt annerledes grunnet over- og undertrykk, som kan påvirke gass-strømmen med press- eller drakrefter.

### **7.1.1.2 Slokkekonsentrasjon i vegghulrom**

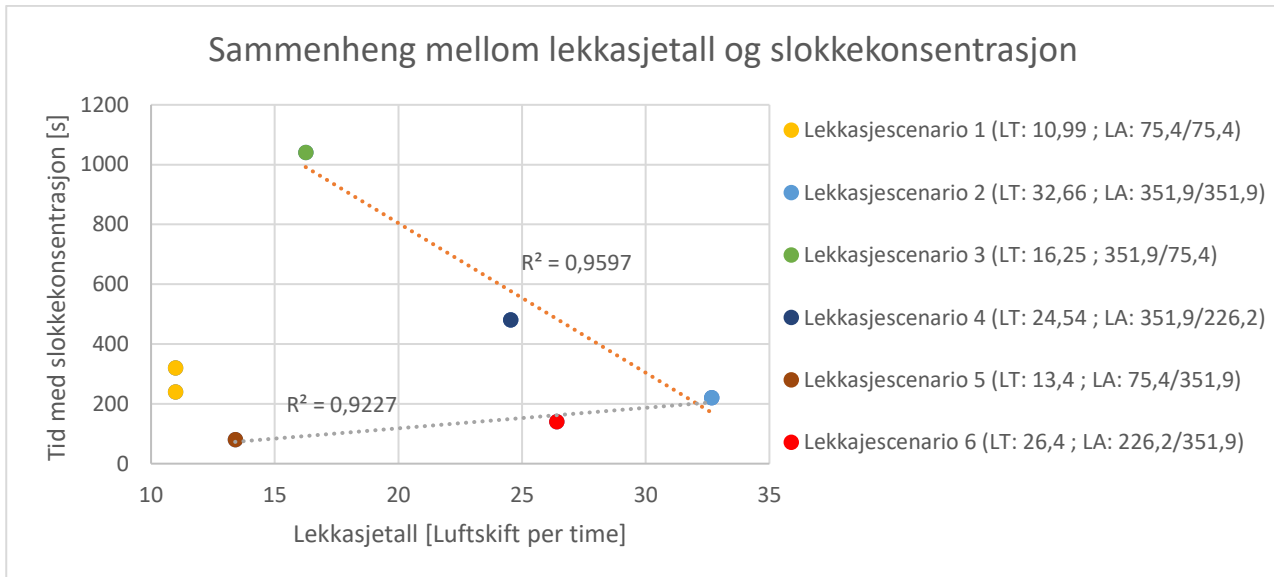
Resultatene viser at kravet om holdetid kun ble oppfylt i primærrommet, og ikke i noen av hulrommene. Det ble likevel oppnådd slokkekonsentrasjon på under 15 vol% oksygen i hulrommene. Tiden med slokkekonsentrasjon varierte for hvert lekkasjeszenario.

For primærrommet vil tid med slokkekonsentrasjon i stor grad avhenge av lekkasjetallet. I hulrommene avhenger tiden derimot av en kombinasjon av lekkasjetall og -konfigurasjon. Grunnen til dette er at lekkasjearealene har betydning for forholdet mellom hvor mye slokkegass som trenger inn og ut av hulrom.

Figur 35 viser sammenhengen mellom lekkasjetall og tid med slokkekonsentrasjon for måler 3 øverst i vegghulrommet. Resultatene viser at tid med slokkekonsentrasjon er tilnærmet lik for lekkasjeszenario 1 (LT: 10,99 | LA: 75,4/75,4) og lekkasjeszenario 2 (LT: 32,66 | LA: 351,9/351,9) på tross av store forskjeller i lekkasjetall. Dette indikerer at tid med slokkekonsentrasjon i vegghulrom i liten grad variere med lekkasjetall. Forsøkene fra de øvrige lekkasjeszenarioene underbygger denne indikasjonen, ved at det heller vises en sammenheng mellom lekkasjekonfigurasjon og tid med slokkekonsentrasjon.

I Figur 35 er det innsatt to lineære regresjonslinjer for lekkasjeszenarioer der lekkasjearealet i det ene platesjiktet er likt. Dette gjelder for scenario 2, 3 og 4 der indre platesjikt har lekkasjeareal på 351,9 cm<sup>2</sup>, samt scenario 2, 5 og 6 der ytre platesjikt har lekkasjeareal på 351,9 cm<sup>2</sup>. Linjene indikere at det er en lineær sammenheng mellom disse scenarioene, og at tiden med slokkekonsentrasjon derfor avhenger av lekkasjekonfigurasjon. Siden det kun er tre punkter til hver regresjonslinje vil det være en del usikkerhet til den lineære sammenhengen.





Figur 35 Sammenheng mellom lekkasjetall og tid med slokkekonsentrasjon

Resultatene fra forsøkene viser at tid med slokkekonsentrasjon øverst i vegghulrommet er 13 ganger lengre for lekkasjeszenario 3, sammenlignet med scenario 5. Til sammenligning er tid med slokkekonsentrasjon for lekkasjeszenario 4 kun 3,5 gange lengre enn for scenario 6. Resultatene viser samtidig at økende forhold mellom lekkasjeareal i indre og ytre platesjikt gir større forskjell i tid med slokkekonsentrasjon. Dette fordi forholdstallet har betydning for hvor mye gass som vil strømme inn og ut av hulrommene.

Lekkasjeszenario 3 (LT: 16,25 | LA: 351,9/75,4) representerer det mest gunstige scenario for slokkeeffekten i vegghulrommet, grunnet store lekkasjearealer inn til hulrommet og små arealer ut. I motsetning representerer lekkasjeszenario 5 (LT: 13,42 | LA: 75,4/351,9) det minst gunstige scenario for slokkeeffekt, ved små arealer inn til hulrommet og store ut.

De to lekkasjeszenarioene vil representere ulike hulrom som finnes i forskjellige byggverk. Lekkasjeszenario 3 kan representere innvendig hulrom i bygg, som f.eks. en påføret vegg eller nedforet himling. Lekkasjeszenario 5 vil være det scenario som best representerer luftet ytterkledning, men det må tas i betraktning at det er ikke ytre vindpåvirkning i forsøkene. Forsøkene er ikke ment å teste INERGEN i luftet ytterkledning, men siden det i 4.4 Kvalitativ kartlegging er kartlagt at ytterkledning i eldre trehus ofte har lukket kledning mot grunnmur, vurderes det i slike tilfeller mulig å oppnå slokkeeffekt. Effekten vil avhenge av lekkasjer i bygget og ytre påvirkninger fra vind.

Som nevnt i kapittel 4.2 *Hulrommet brenner* er det nødvendig for brannvesenet å få kartlagt omfanget av hulrom i verneverdige bygninger. Selv om denne kartleggingen er rettet mot brannvesenet og utstyrsbehovet deres i forbindelse med brannbekjempelse i hulrom, kan denne kartleggingen også brukes til å vurdere implementering av mulige brannsikringstiltak i hulrom. Kartleggingen vil derfor kunne brukes til å vurdere om et gass-slokkeanlegg vil gi en økt beskyttelse med tanke på farene i forbindelse med brann i hulrom.

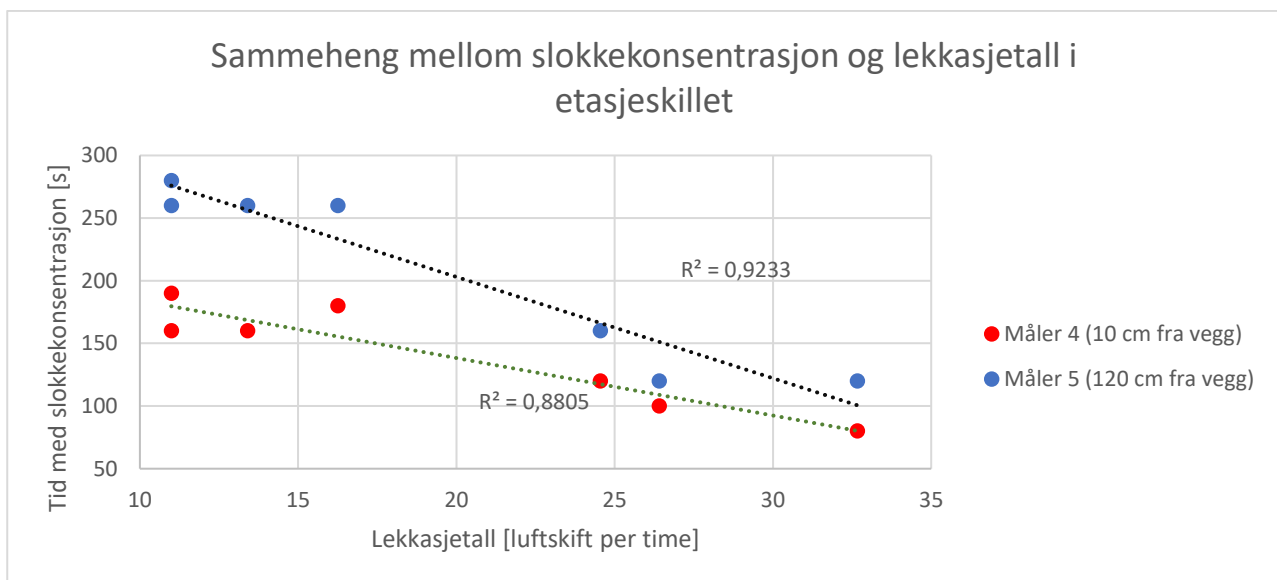
Det er mulig å kartlegge størrelse og plassering av de fleste hulrom i mange bygg. I eldre bygg vil det i tillegg kunne være synlige lekkasjer som kan indikere om det er mulige spredningsveier for slokkegass inn til hulrom. Dersom det ikke er synlige lekkasjer kan det være vanskelig å vurdere lekkasjeareal og -konfigurasjon, og det bør derfor vurderes å finne lekkasjetallet ved differansetrykktesting. Vurderingen av om INERGEN vil ha slokkeeffekt i hulrommene må baseres på en kartlegging av hulrom og/eller lekkasjetallet, for hvert enkelt tilfelle – siden det ikke er en universell utforming av hulrom.

### 7.1.1.3 Slokkekonsentrasjon i hulrom etasjeskillet

Tiden med slokkekonsentrasjon i etasjeskillet er generelt kort. Forskjellene mellom de ulike lekkasjescenarioer er tidsmessig små, med tre minutters forskjell på den korteste og lengste tid med slokkekonsentrasjon.

Figur 36 viser resultater for måler 4 og måler 5 i etasjeskillet, plassert henholdsvis 10 og 120 cm fra veggen. Sammenheng mellom lekkasjetall og tid med slokkekonsentrasjon for etasjeskillet, skiller seg markant fra resultatene øverst i vegghulrommet. I vegghulrommet er det tydelig sammenheng mellom lekkasjekonfigurasjon og tid med slokkekonsentrasjon, noe som ikke er tilfellet i etasjeskillet. Her vises derimot en sammenheng mellom lekkasjetall og tiden med slokkekonsentrasjon.

Det var forventet at størrelsen på lekkasjearealene i nederste platesjikt ville ha betydning for tiden med slokkekonsentrasjon i etasjeskillet. Dette fordi gassen har høyere massetetthet enn luft og vil synke gjennom platesjiktet etter å ha trengt inn i hulrommet. Resultatene indiker at mindre hull i platesjiktet ikke bremser nedsvivningen av gass slik som forventet. Siden det er små forskjeller i tid med slokkekonsentrasjon mellom hvert lekkasjescenario er det vanskelig å konkludere om konfigurasjonen i noen tilfeller vil ha betydning.



Figur 36 Sammenheng mellom lekkasjescenarioer for tid med slokkekonsentrasjon og lekkasjetall i etasjeskillet

Den generelt korte tiden med slokkekonsentrasjon indikere at det kun vil være begrenset slokkeeffekt i etasjeskillet, dersom det kun utløses INERGEN i det underliggende rom. Gasslokkeanlegg kan være inndelt i utløsningssoner (kapittel 2.3.2.2), som kan dekke rom over og under samme etasjeskiller. Dette kan bidra til økt gassinntrengning i etasjeskilleren fordi det kommer gass fra rommet under og over etasjeskilleren. For at gass skal kunne trenge inn må det være lekkasjeåpninger i himling og golvbord. Spesielt i byggverk med stubbloft kan soneinndelingen ha betydning for slokkeeffekten, siden det kan være hulrom både over og under stubbloftfyllet.

#### **7.1.1.4 Forlengelse av holdetid**

I tilfeller der INERGEN-anlegg ikke gir tilstrekkelig holdetid er det mulig å oppnå lengre holdetid ved å benytte en kombinasjon av INERGEN og vanlig luft, kalt Safe-air, i etterkant av utløst INERGEN-anlegg. Ved å tilføre Safe-air er det mulig å designe anlegg til byggverk med store lekkasjetall. I tillegg vil tilførsel av gass i en lengre periode gi overtrykk som vil hjelpe med å senke oksygenkonsentrasjonen i hulrom. Resultatene fra de kalde forsøkene viser at holdetiden er kortest i toppen av rommet, noe som skyldes massetettheten til gassen. Ved å tilføre Safe-air vil oksygenkonsentrasjon i toppen av rommet holdes på et lavt nivå over en lengre periode, fordi det øker tilførselen av gass samt at sirkulasjonen i rommet vil motvirke at gassen synker.

I intervju med forskjellige brannvesen (kapittel 4.4.1) kommer det frem at de i flere situasjoner har problemer med å lokalisere brannen fordi den er skjult i hulrom. Dette medfører store materielle skader fordi det er nødvendig å åpne konstruksjoner i forbindelse med lokaliseringen. Ved å benytte Safe-air vil det kunne oppnås en lengre tid med slokkekonsentrasjon i hulrom. Dette kan gi brannvesenet lengre tid til å lokalisere branner, dersom de er skjult i hulrom. Samtidig kan redusert brannspredning gi mulighet for mer målrettet slokkearbeid i hulrom, noe som vil gi mindre materielle skader.

Ulempen ved Safe-air er høyere kostnader ved installasjon, samtidig som en økt flaskebank krever mer plass. Safe-air vil også være avhengig av korrekt sammenblanding av INERGEN og luft, noe som kan påvirke anleggets pålitelighet. Det vurderes at Safe-air kan ha et stort potensial siden kan tilpasses høye lekkasjetall, samtidig som det vil gi økt holdetid/tid med slokkekonsentrasjon.

#### **7.1.2 Sammenligning av lekkasjescenarioer varme forsøk**

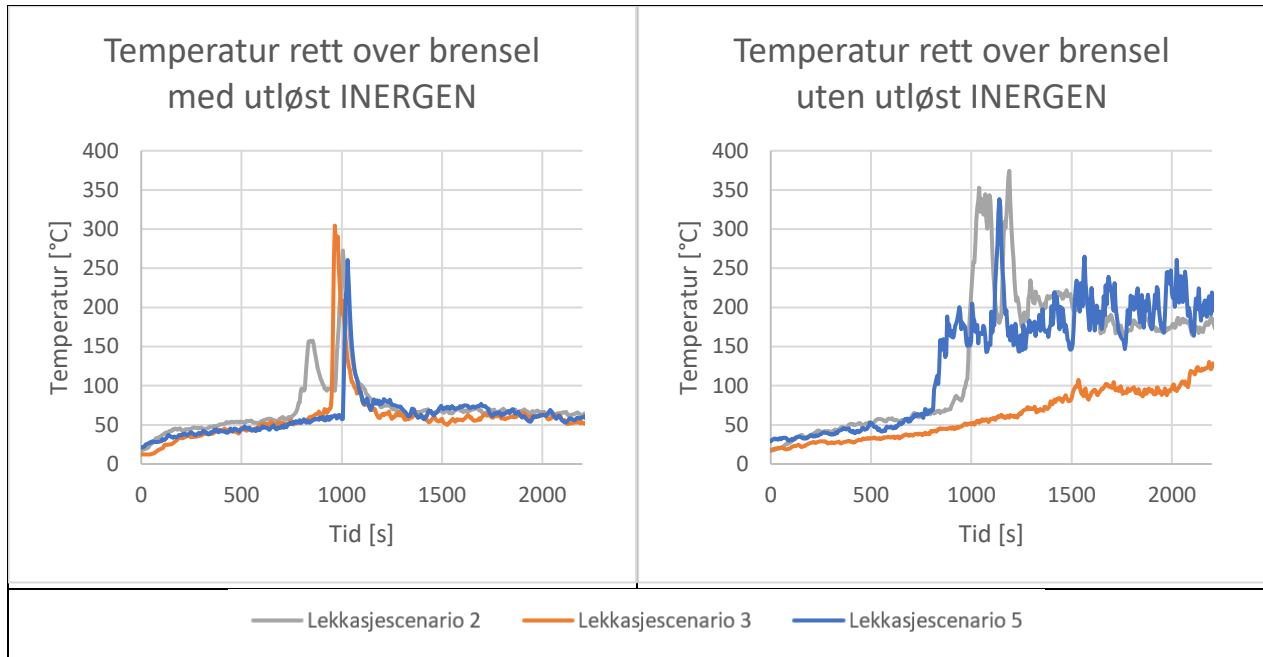
Grunnet begrenset tilgang på INERGEN ble det valgt å kun utføre varme forsøk for lekkasjescenario 2, 3 og 5.

Lekkasjescenario 2 (LT: 32,66 | LA: 351,9/351,9) ble valgt for å sjekke om en brann ville kvele seg selv grunnet oksygenmangel i hulrommet. Dette fordi scenarioet gir størst oksygentilgang i hulrommene. Lekkasjescenario 3 (LT: 16,25 | LA: 351,9/75,4) og 5 (LT: 13,42 | LA: 75,4/351,9) ble valgt fordi de har omtrent likt lekkasjetall men omvendt konfigurasjon av hull i innvendig og utvendig platesjikt.

I Figur 37 er sammenheng for temperaturutvikling over brensel vist. Grafene rett over brannen viser at temperaturen senkes markant ved utløst INERGEN-anlegg, sammenlignet med forsøk uten INERGEN. Temperaturredgangen indikerer at flammebrann i spon og fakler sløkkes effektivt av

gassen. Slokkeeffekten underbygges ved å sammenligne massetap av stearin for de varme forsøkene med og uten INERGEN. Tabell 24 illustrerer et betydelig mindre massetap for forsøkene med INERGEN enn uten.

Resultatene viser at INERGEN-anlegget effektivt fjerner varme røykgasser og senker temperaturen i hele hulrommet. Det bemerkes at et reelt tilfelle med isolasjon og brennbare materialer kan gi andre resultater, siden flere materialer vil delta i brannen og forutsetninger for inntrengning av slokkegass kan være annerledes.



Figur 37 Sammenligning av temperatur over brensel på tvers av lekkasjesenario

Figur 38 viser at temperaturutviklingen i brenselet for to av forsøkene følger sammen trenden som over brensel, men vil stabiliseres ved en høyere temperatur. Effekten av slokkegassen ses tydelig ved å sammenligne temperaturgrafene for forsøk med og uten INERGEN.

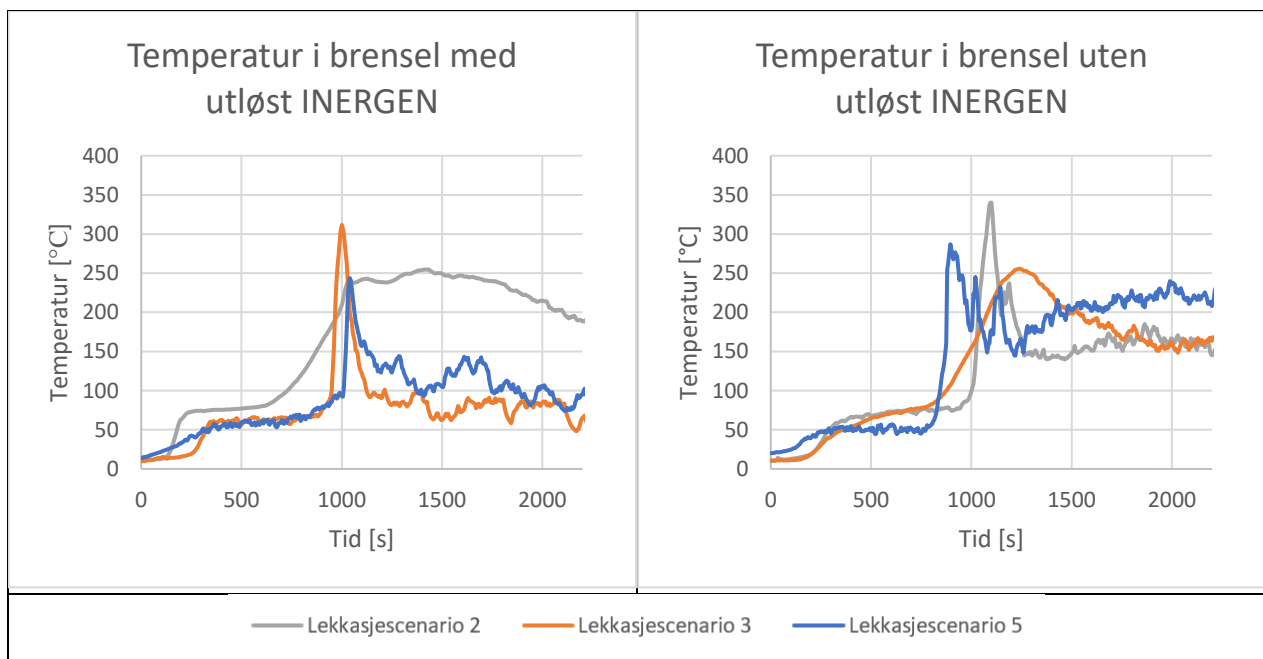
I lekkasjesenario 2 fikk ikke termoelementet i brenselet en temperaturnedgang tilsvarende lekkasjesenario 3 og 5. Figur 38 viser at temperaturen etter utløst slokkeanlegg stabiliseres rundt 250 °C. Forskjellen i temperaturutvikling for de forskjellige lekkasjesenarioene kan være forårsaket av at termoelementet i lekkasjesenario 2 kan ha blitt plassert i en del av brenselet der tresponen var mer komprimert. Følgene av dette kan være at slokkegassen ikke hadde like god inntrengningsevne som i de andre scenarioene.

For lekkasjesenario 3 blir temperaturen i brenselet senket ned til mellom 70-100°C, som er lavere enn for lekkasjesenario 5 der temperaturen ligger i intervallet 100-150°C. For begge scenarioene ble flammeframmen slokket og temperaturen senket, men effekten var størst der lekkasjearealet ut av hulrommet var minst. Resultatene samsvarer i noen grad med de kalde forsøkene, der det ses en sammenheng mellom lekkasjekonfigurasjon og tiden med slokkekonsentrasjon.

Temperaturforskjellen mellom de to scenarioer er ikke signifikant, og kan i like stor grad skyldes individuelle forskjeller mellom forsøkene. Ut fra resultatene kan det konkluderes med at

lekkasjekonfigurasjonen ikke har like stor betydning for slukkeeffekt som tid med slukkekonsentrasjon antydnet i de kalde forsøkene.

De kalde forsøkene viser at det for lekkasjescenario 3 er en tid med slukkekonsentrasjon på 37 minutter, mens den for lekkasjescenario 5 var åtte minutter. På tross av den store forskjellen i de kalde forsøkene viser grafene fra de varme forsøkene, i Figur 38, at temperaturen holdes konstant lav for begge forsøk. Brannutviklingen ble hindret i mer enn 16 minutter, selv om tiden med slukkekonsentrasjon kun var åtte minutter. Hovedårsaken til dette vurderes å være at varmekilden i begge tilfeller har blitt sløkket. Selv om faklene er sløkket vil tresponen fortsette å ulme og produsere røyk, noe som i kombinasjon med slukkegass vil bidra til å holde oksygenkonsentrasjonen lavt i hulrommet over lengre tid. Dette kan ha medvirket til å utsette brannutviklingen. Det må også tas i betraktning at brannen har et begrenset areal og en temperatur på maksimalt 300°C. I tilfeller med større brann og høyere temperatur kan tid med slukkekonsentrasjon ha en større betydning, fordi temperaturen i materialet enklere vil føre til antennelse når oksygenkonsentrasjonen økes.



Figur 38 Sammenligning av temperatur i brensel på tvers av lekkasjescenario

Observasjoner fra alle lekkasjescenarioer med utløst INERGEN-anlegg viste at tresponen reantente i etterkant av forsøkene da hulrommet ble åpnet. Dette viser at ulmebrannen ikke ble sløkket. På dette tidspunktet er faklene sløkket og vil dermed ikke fungere som varmekilde. Ulmebranner kan vedvare ved oksygenkonsentrasjoner rundt 10 vol%, samtidig som INERGEN ikke vil gi en kjølede effekt. Som følge av dette kan brannen reantenne når oksygenkonsentrasjonen øker, dersom det brennbare materiale er tilstrekkelig varmt. Fullstendig sløkking av brannen er derfor avhengig av brannvesenets innsats.

Rett etter utløst anlegg vil de varme røykgassene i primærrom og hulrom fortrennes, og temperaturen senkes som følge av dette. I primærrom vil dette gi økt sikt i forbindelse med evakuering, samtidig som fjerning av varme røykgasser i hulrommene kan redusere

brannspredningen i en periode. Dette vil gi bedre utgangspunkt for slokkemannskap, fordi det begrenser omfanget av konstruksjoner som er nødvendig å åpne i forbindelse med lokalisering av brann. Dette vil medføre at de materielle skadene reduseres, fordi det blir mindre skader fra selve brannen og i forbindelse med brannvesenets slokkeinnsats.

#### **7.1.2.1 Tid til deteksjon**

I forsøkene var det installert en ionisk røykdetektor i taket, for å få en indikasjon på deteksjonstiden i et reelt tilfelle. For å oppnå sammenlignbare resultater ble det valgt andre utløsningskriterier – en rask temperaturstigning og temperatur på 250 °C.

For alle forsøk med unntak av forsøk 18, se tabell 7, ble røykdetektoren aktivert før anlegget ble utløst. For å sammenligne med en reel situasjon må det tas i betraktning at det finnes ulike detektortyper med forskjellig følsomhet. Samtidig prosjekteres anlegg i de fleste tilfeller med det kriterium at to detektorer er aktivert før slokkeanlegget utløses, for å unngå feilutløsning. Dette kan føre til lengre deteksjonstid, som igjen kan medføre en større brann som er vanskeligere å slokke/kontrollere.

#### **7.1.3 Usikkerheter og validering av resultater**

##### **7.1.3.1 Vurdering av usikkerheter i kalde forsøk**

Det ble utført to kalde forsøk av lekkasjescenario 1 (LT: 10,99 | LA: 75,4/75,4) for å undersøke usikkerheten i oksygenmålingene. Resultatene for forsøk 1 og 2 i henholdsvis Figur 20 og Figur 21 viser at grafene til de ulike målerne har relativt lik trend, med unntak av grafen til måler 3, øverst i vegghulrommet. Grafen til denne måleren viser en raskere økning i oksygenkonsentrasjonen i forsøk 2, og har gjennom resten av forsøket en markant høyere oksygenkonsentrasjon enn i forsøk 1. Ytre forhold som temperatur og vind var uendret for de to forsøkene, og skal dermed ikke hatt innvirkning på resultatene.

Faktorer som kan medvirke til usikkerhet i forsøkene kan være trykkforskjell, forskjeller forårsaket av feilmontering eller målerfeil.

Trykkmåleren i primærrommet viste at det i forsøk 1 var 23 Pa høyere trykk sammenlignet med forsøk 2. Til tross for lavere trykk, ble det oppnådd lavere oksygenkonsentrasjon i hulrom i forsøk 2, se Figur 27. Det var forventet at lavere trykk ville presse mindre INERGEN ut i hulrommet, men denne sammenhengen ble ikke bekreftet i forsøkene. I forbindelse med trykk fra utløst slokkeanlegg kan enkelte teipbiter ha løsnet, noe som kan ha bidratt til forskjellen i oksygenkonsentrasjon.

Den mest sannsynlige forklaringen kan være utettheter skapt i forbindelse med av- og påmontering av platekledningen som ble gjort for å luften ut slokkegass mellom forsøkene. Siden forskjellen gjelder kun en måler kan platene ha blitt dårlig festet i toppen.

En annen faktor kan være målefeil i den aktuelle oksygenmåleren, men det er ingen indikasjoner på denne målefeilen ved sammenligning av grafene for de andre lekkasjescenarioene. Dersom det var en feil på måleren kan denne ha blitt korrigert i etterkant ved prosedyren med at alle målerne ble tatt ut av hulrom og nullstilt mellom hvert forsøk.

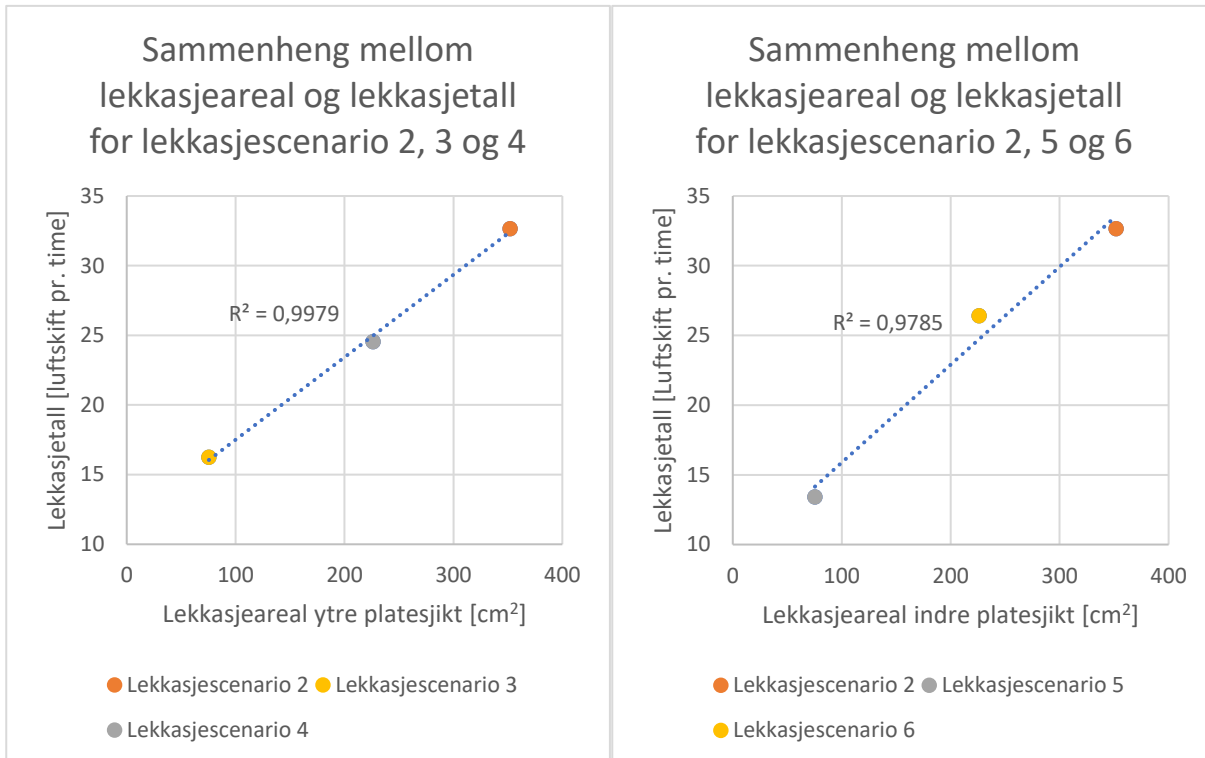
Resultatene fra forsøk 1 og 2 indikerer at det kan være en viss usikkerhet i forsøksresultatene. Det ble likevel valgt kun å utføre ett forsøk for hvert av de resterende lekkasjescenarioene. Det ble vurdert at usikkerheten var akseptabel og at det var viktigere å utføre forsøk for flere ulike lekkasjescenarioer fremfor å verifisere usikkerheten for et lite utvalg av scenarioer. Dette fordi flere lekkasjescenarioer vil gi bedre mulighet for vurdering av ulike parametere, samt bedre grunnlag for videre forskning.

### **7.1.3.2 Vurdering av usikkerheter i differansetrykktester**

Resultatene for differansetrykktestene er presentert i Tabell 6, og viser et intervall på 10,99-32,66 luftskift per time for de valgte lekkasjescenarioer. Nøyaktigheten til differansetrykktestene er på  $\pm 10\%$ .

For å avdekke usikkerheter i forbindelse med lekkasjetallene, er det i Figur 39 illustrert en sammenheng mellom lekkasjearealer og -tall. Sammenligningen er gjort for lekkasjescenarioer der lekkasjearealet er konstant i det ene platesjiktet. Dette gjelder for scenario 2, 3 og 4 der indre platesjikt har lekkasjeareal på  $351,9 \text{ cm}^2$ , samt scenario 2, 5 og 6 der ytre platesjikt har lekkasjeareal på  $351,9 \text{ cm}^2$ . Grafene viser at det er god lineær sammenheng mellom lekkasjearealer og -tall, noe som bekreftes av den multiple korrelasjonskoeffisienten  $R^2$ .

Sammenlignes lekkasjetall på tvers av alle lekkasjescenarioer, fremkommer det motstridende resultater. Lekkasjescenario 3 (LT: 16,25 | LA: 351,9/75,4) har et høyere lekkasjetall enn scenario 5 (LT: 13,42 | LA: 75,4/351,9), samtidig som lekkasjescenario 4 (LT: 24,54 | LA: 351,9/226,2) har lavere enn scenario 6 (LT: 26,43 | LA: 226,2/351,9). Siden kun det innerste platesjikt er tettet med TEC-7 ble det forventet at innerste platesjikt var mer tett enn ytre. På grunnlag av dette burde lekkasjescenario 4 hatt høyere lekkasjetall enn scenario 6, fordi innerste platesjikt i scenario 6 vil være begrensende. Forskjellene er likevel små og kan forklares med nøyaktigheten til differansetrykktestene.



Figur 39 Sammenheng mellom lekkasjeareal og -tall

#### 7.1.4 Vurdering av varme forsøk

I de varme forsøkene er det en viss forskjell i brannutvikling mellom forsøkene for samme lekkasjescenario. Det var i tillegg noen forsøk der utløsningskriterier ikke ble oppfylt. Årsaken til dette kan forklares med at brann er et komplekst fenomen som avhenger av mange parametere. Dette gjør at tilsynelatende uendrede parametere kan gi forskjellig brannutvikling.

Ved sammenligning av grafene i Figur 31 for scenario 3 (LT: 16,25 | LA: 351,9/75,4), uten utløst INERGEN-anlegg, ses ikke samme raske brannutvikling som for tilsvarende forsøk med utløst anlegg, vist i Figur 32. I forsøket uten INERGEN ble kun utløsningskriteriet om temperatur på ca. 250 °C, oppfylt. Den sakte temperaturutviklingen over brannen for scenario 3 uten INERGEN kan indikere at det ikke har vært en overgang til flammebrann. Dette kan skyldes at flammene vil kveles av røykgasser i hulrommet. Siden utløsningskriteriene ikke ble oppfylt i begge forsøkene, gir dette et dårligere sammenligningsgrunnlag enn for lekkasjescenario 2 og 5, der kriteriene oppfylles i alle forsøk.

Det var ønskelig å få frem slokkeeffekten til INERGEN best mulig i grafene for de varme forsøkene. Uansett brannforløp vil det oppnås en kvelende effekt i hulrommet, som følge av røykgasser. For best mulig å skille mellom effekten av røyk og slokkegass ble det valgt to utløsningskriterier, som representerte en brannutvikling med tydelige tegn til vekst og flammebrann. Ved sammenligning av alle varme forsøk vises det at INERGEN har en tydelig slokkeeffekt.



## 7.2 Diskusjon av forsøksoppsett

### 7.2.1 Forsøkskonstruksjon

Det vurderes at størrelsen på konstruksjonen vil være representativ for reelle bygg, selv om det er av liten skala sammenlignet med rom som normalt beskyttes med slokkeanlegg. Dette er fordi IMT-beregningene tilpasser INERGEN-anlegg til de forhold som finnes, slik at det i større rom må prosjekteres med større flaskestørrelse- og bank eller at designkonsentrasjonen kan justeres opp innenfor et visst intervall.

Den største forskjellen mellom forsøkskonstruksjonen og et reelt bygg vil være forholdet mellom størrelsen på rom og hulrom. Det innvendige volumet til konstruksjonen er  $18,6 \text{ m}^3$  og hulromsvolumet er ca.  $2,5 \text{ m}^3$ . Dette gir et tillegg i volum på omtrent 13 % av det innvendige volumet til konstruksjonen. Sett i sammenheng med at slokkeanlegget er dimensjonert kun for innvendig volum i konstruksjonen, er det et forholdsvis stort areal som må dekkes utover det IMT-beregningen har kalkulert med. I større bygg vil det ikke være et så stort forhold mellom rom som skal beskyttes og hulrom. I slike tilfeller vil det derfor være lettere å oppnå slokkekonsentrasjon i hulrom, spesielt hvis lekkasjetallet tas hensyn til ved prosjektering.

Det er i forbindelse med den kvalitative kartleggingen ikke gjort funn som kan konkludere med en universell utforming og plassering av lekkasjeareal. Det er observert glipper og kvisthull i vegg- og takpanel, samt i golvbord. På et generelt grunnlag er det erfart at eldre byggverk vil ha naturlige bevegelser og setninger som fører til glipper – spesielt i forbindelse med hjørner, skjøter og overganger mellom forskjellige konstruksjoner. Andre mulige lekkasjeareal kan oppstå i forbindelse med hulltaking for gjennomføringer, samt rundt dører og vinduer.

Med bakgrunn i den kvalitative kartlegging vurderes det at en jevn fordeling av lekkasjearealer er mest representativ for et virkelig scenario, og det ble derfor valgt små hull fordelt rundt i konstruksjonene. Teip ble benyttet for å ha best mulig kontroll over lekkasjene, og enkelt kunne tilpasse lekkasjeareal mellom hvert scenario.

Resultatene fra forsøk i denne oppgave vil være mest representative i tilfeller der lekkasjearealet er jevnt fordelt i rommet. Dersom det er åpne vinduer eller dører vil lekkasjetallet naturlig være høyt, og gassen vil antageligvis strømme hurtigere ut gjennom den store åpningen enn gjennom mange små åpninger. I tilfeller der lekkasjeåpningene inn til hulrom er større enn i forsøksoppsettet i denne oppgaven, vil det kunne være mindre motstand fra kantene i åpningene. Dette betyr at gassstrømmen vil bli hindret i større grad av mange små åpninger, sammenlignet med færre åpninger med større areal.

Største lekkasjetall i forsøkene var på 32,66 luftskift per time. Et lekkasjetall på denne størrelsen vil normalt ikke være representativt for eldre byggverk, siden erfaringstall viser at bygg fra begynnelsen av 1900-tallet ofte har lekkasjetall opp mot 15 luftskift per time. Lekkasjescenarioet er likevel ansett som interessant, siden dette scenarioet vil teste slokkegassens effekt ved uvanlig høyt lekkasjetall.

### 7.2.2 Branntype

Det ble valgt å utføre varme forøk i hulrom med ubrennbar kledning av gips. Dette gjorde det mulig å utføre flere forsøk uten å måtte skifte ut plater underveis. Det ble i tillegg enklere å kontrollere og sammenligne de forskjellige forsøkene siden det ikke var bidrag fra andre materialer enn selve brenselet.

Siden gassen synker vil det være gunstige slokkekonsentrasjoner i området lavt i veggen, der brannen er plassert. Det vil derfor være interessant å undersøke brann høyere i konstruksjonen der det oppnås slokkekonsentrasjon i kortere tid. Dersom forsøket skulle blitt utført igjen burde det overveies å benytte brennbar platekledning, som ville bidratt til brannen og medført brannspredning opp i hulrommet. Dette ville medføre at forsøkene i større grad representere et reelt brannscenario. Forslag til videre arbeid er derfor å teste brennbare konstruksjoner, samt branner i forskjellige høyder, spesielt i etasjeskiller.

Dersom det skal benyttes brennbar platekledning må det benyttes et enklere oppsett, siden det da er nødvendig å skifte kledningen mellom hvert forsøk. Det var i denne oppgaven ikke tid eller ressurser til å bygge opp et forsøksoppsett med brennbar platekledning, eller som kunne teste antennelse og brannspredning både i vegg og etasjeskillet.

Funnene fra intervju og statistikk i kapittel 4 *Litteraturstudie og kvalitativ kartlegging* indikerer at brann i elektriske installasjoner er en vanlig brannårsak i forbindelse med hulrom. Statistikk fra DSB angir at 5 av 87 branner med arnested i hulrom startet i elektriske anlegg. Dette tallet kan være markant høyere, siden det for 60 branner bare er angitt arnested, og ikke tennkilde. Uttalelser fra kriminaltekniker Eirik Baae og statistikk fra rapporten *Elektriske branner og brannrisiko* underbygger at elektriske branner er en vanlig tennkilde og utgjør en stor brannrisiko. I forsøksoppsettet er det imidlertid valgt å ikke benytte elektrisk gnist som tennkilde, fordi antennelsesfasen vurderes å være mindre viktig, siden oppgaven primært fokuserer på slokkeeffekt i en senere fase.

Fakler ble benyttet som varmekilde for å øke sannsynligheten for en rask brannutvikling i hulrommet. Denne løsningen ga utfordringer med tanke på å oppnå samme brannutvikling for alle forsøk. Fordelen er derimot at de indikerer om det har vært tilstrekkelig slokkeeffekt ved å observere om flammebrannen i faklene slokkes av slokkeanlegget. En annen fordel er at det er mulig å observere hvordan en ulmebrann i tresponen utvikles i en inert atmosfære, når varmekilden kuttes.

Dersom forsøkene skal gjentas kan det overveies om det er hensiktsmessig å benytte en elektrisk varmeplate som vil gi en jevnere fordeling av varme i tresponen, og dermed redusere usikkerheten i forbindelse med temperaturmålingene, som er punktmålinger.

### 7.2.3 Feilkilder

I de kalde forsøkene vil den største feilkilden være knyttet til usikkerheter på målerne og tidsforskyvning av resultatene. Fordi det kun ble logget data for hvert 20. sekund, kan det være detaljer i resultatene som ikke ble registrert – spesielt rett etter utløst INERGEN-anlegg, der endring i oksygenkonsentrasjon skjedde hurtig. En annen utfordring var å koble manuelt avleste data med

automatisk logget data fra oksygenmålerne. Fordi det ikke var mulig å synkronisere tiden på oksygenmålerne akkurat likt, kan det være individuelle forskjeller mellom tiden på måleravlesningene på opptil 15 sekunder. Dersom det ble valgt et kortere intervall for datalogging, ville feil relatert til målinger kunne vært redusert, og resultater for holdetid og tid med slokkekonsentrasjon ville blitt mer nøyaktig. Det vurderes at måleintervallet ikke ville hatt betydning for konklusjonene i denne oppgaven, men ved gjentakelse av forsøkene bør intervallene tas i betraktning.

I forbindelse med de kalde forsøkene var porter og dører i forsøkshallen lukket og takviften avslått. I de varme forsøk var to porter åpne, i tillegg til at takviften gikk på lav hastighet. Det var i forbindelse med forsøkene ikke kraftig vind, men de åpne portene kan ha påvirket forsøksresultatene ved at det ble gjennomtrekk i hallen.

I forbindelse med varme forsøk ble det observert dårlige vilkår for brann ved utførelse av første forsøk på morgenen. Dette skyldes med stor sannsynlighet at forsøkskonstruksjonen var kald og inneholdt mer fuktighet, sammenlignet med etterfølgende forsøk. For å motvirke effekten av fukt ble hulrommet oppvarmet med en heptanbrann før oppstart av forsøk resterende dager. Fuktinnehold i tresponen kan også hatt betydning for brannutviklingen, siden sponen ble oppbevart åpent i brannhallen. Ulik fuktinnhold kan ha gitt forskjeller i resultater mellom hvert forsøk, fordi det kreves energi for å fordampe fukten.

Ved utførelse av de varme forsøkene ble det kun benyttet ett termoelement i hvert målepunkt. Temperaturen kan i brensel og rett over brannen variere mye innen korte avstander, noe som ikke blir fanget opp siden termoelementet kun måler temperaturen i ett spesifikt punkt. Det var valgt å benytte ett termoelement i hvert målepunkt for rask instrumentering. Dette var viktig fordi det var nødvendig å plassere målerne i brenselet etter antennelse av faklene, noe som innebar at kassen inn til hulrommet var åpen. Et resultat av begrensningen med ett målepunkt ses i forsøk 12, der temperaturen i brenselet avviker fra andre forsøk. Ved å benytte flere termoelementer kunne det enklere vært konkludert hva årsaken til dette var.

Det ble benyttet teip til å tette hull i konstruksjonen for å kontrollere lekkasjearealet. Teipen fungerte etter hensikten, men for noen få hull i et lite område rundt dysen ble teipen revet løs grunnet trykket fra gassutløsningen. Det vurderes at effekten av dette vil være neglisjerbar, siden det gir små forskjeller i areal og teipen ikke ble revet løs fra de hulrom hvor oksygenmålerne var plassert.

En mulig feilkilde som kan ha påvirket resultatene i alle forsøkene kan være forskjellen i flasketrykk. Utgangstrykket for hver flaske som ble benyttet i forsøkene ble avbildet og kan ses i *Vedlegg D*. Det antas at selv om trykkforskjellen er synlig for noen av flaskene vil ikke effekten av dette være av særlig betydning, siden oksygenkonsentrasjonen ville blitt endret med noen tideler av volumprosenten.

### 7.3 INERGEN sammenlignet med andre slokkeanlegg

Valg av automatisk brannsløkkeanlegg og følgelig slokkemiddel må velges med hensyn til person- og miljø sikkerhet, pålitelighet, tilgjengelighet av slokkemiddel, anvendelighet i det spesifikke byggverk, samt i hvilken grad sekundærskader kan tolereres. I henhold til innledningen til kapittel 11 i VTEK 17 stilles det krav om at automatiske brannsløkkeanlegg skal ha tilsvarende beskyttelse og pålitelighet som automatiske sprinkleranlegg, samt at det skal dokumenteres at valg av slokkemiddel ikke utgjør en fare for liv og helse. Det vurderes at det er mulig å dokumentere at disse kravene er tilfredsstillende for slokkesystem av INERGEN og vanntåke, siden det allerede er prosjektert og installert slike slokkeanlegg i bygg for personopphold.

#### 7.3.1 Sammenligning av slokkeeffekt

Direkte sammenligning av slokkeeffekten mellom ulike typer slokkeanlegg kan være vanskelig siden de baseres på ulike slokkemekanismer. Sprinkleranlegg har primært en kjøleende effekt, vanntåke slokker ved en kombinasjon av kjøling og kvelning mens INERGEN-anlegg slokker brann ved inertisering.

Sammenlignet med sprinkler- og vanntåkeanlegg er slokkeeffekten til INERGEN-anlegg i høyere grad påvirket av ytre faktorer som vind, samt åpne dører og vinduer i byggverket. Resultatene i denne oppgaven viser at INERGEN-anlegget i primærommet oppfyller krav til designkonsentrasjon og holdetid, selv med høye lekkasjetall opp til 26 luftskift per time. Dette viser at det er mulig å designe anlegg for bygg med større lekkasjer, men det bemerkes at det vil være nødvendig å gjøre forsøk med påvirkning fra vind.

Evnen til å begrense eller slokke brann i hulrom må tas i betraktning når beskyttelses-kriteriet vurderes. I kapittel 4 *Litteraturstudie og kvalitativ kartlegging* kommer det frem at vanntåke og sprinkleranlegg ikke har slokkeeffekt i hulrom. Et eksempel på dette er brannen på Ringve museum, der vanntåkeanlegget bidro til å holde lav temperatur i primærommene, men ikke kunne hindre brannspredning i vegger og etasjeskille. Det bemerkes at et INERGEN-anlegg i dette tilfellet kunne ha begrenset brannen i konstruksjonene, ved å hindre spredning fra ytterkledningen til etasjeskillet. Dette underbygges av resultatene i denne oppgaven, som viser at INERGEN har slokkeeffekt i hulrom. Ved å senke oksygenkonsentrasjonen i hulrom reduseres risikoen for brannspredning både til og fra hulrom, noe som kan ha stor betydning for brann- og sekundærskader i eldre bygg med mangelfull brannteknisk oppdeling.

Det vurderes at INERGEN kan ha åpenbare fordeler, sammenlignet med vanntåke og sprinkleranlegg, ved beskyttelse av eldre og verneverdige bygg med uerstattelige verdier. Slokkeeffekten kan i tilfeller med brannstart i hulrom eller brannspredning til hulrom begrense brannen, noe som kan gjøre brannvesenets lokaliseringsarbeid og slokkeinnsats enklere. INERGEN-anlegg vil også gi færre følgeskader, fordi gassen ikke vil medføre sekundærskader. Det må tas i betraktning at vannskader også er begrenset ved bruk av vanntåke.

I forbindelse med ulmebrann vil de forskjellige brannsløkkeanleggene ha varierende effekt på ulmebrann. Med tanke på deteksjon vil detektorer som baseres på røyk gi større sannsynlighet for utløst anlegg enn varmfølsomme detektorer. Dermed vil INERGEN-anlegg og vanntåkeanlegg

kunne utløses tidligere i et brannforløp enn sprinkleranlegg. Dette kan bidra til å begrense skadeomfanget i større grad enn det et sprinkleranlegg ville gjort.

Likevel er ikke tidlig utløsning av brannsløkkeanlegg en garanti for tilfredsstillende slokkeeffekt mot ulmebrann. Forsøkene i denne oppgaven har vist at ulmebranner ikke slokkes ved oksygenkonsentrasjoner på rundt 12-14 vol%, grunnet utilstrekkelig kjølede effekt. Slokkeeffekten er avhengig av inntrengningsevnen i materialet som ulmer. I noen materialer vil det under brann kunne bli dannet en beskyttende hinne der slokkemiddel hindres fra å trenge inn til ulmesonen. Et eksempel på dette er treverk som har forkullet. I tillegg er det for vannbaserte slokkemiddel utfordringer knyttet til kanaler i brenselet som kan lede slokkemiddelet bort fra ulmesonen [39].

### 7.3.2 Pålitelighet og personsikkerhet til sløkkeanlegg

Resultatene i denne oppgaven kan kun benyttes i vurderingen av slokkeeffekten til INERGEN-anlegg. Fordi det er nødvendig å oppfylle alle tre krav gitt i VTEK 17, er det gjort generelle betraktninger og sammenligninger relatert til pålitelighet og personsikkerhet.

Sammenlignet med INERGEN- og vanntåkeanlegg er sprinkleranlegg mindre komplekst, noe som vil ha betydning for påliteligheten. Vanntåkeanlegg kan utløses ved varme på samme måte som sprinkleranlegg, eller via deteksjon fra et separat deteksjonssystem. Anlegget har mange likheter med sprinkleranlegg, men er avhengig av en pumpe for å øke vanntrykket, noe som bidrar til økt kompleksitet. INERGEN-anlegg utløses ved deteksjon fra byggets brannalarmanlegg eller eget deteksjonssystem. Dersom vanntåke- og INERGEN-anlegg utløses via et deteksjonssystem, vil påliteligheten for selve sløkkeanlegget i tillegg være avhengig av påliteligheten til dette systemet.

Kompleksiteten vil ha betydning for påliteligheten, men andre faktorer som kvaliteten på komponenter og vedlikehold av anlegg vil også ha betydning. Slike faktorer vil ikke bli diskutert i denne oppgaven.

INERGEN er tilsatt 8 vol% karbondioksid, som vil bidra til å øke respirasjon og hjertefrekvens [38]. Gassen er i henhold til NS-EN 15004 godkjent for bruk i områder med personopphold ("normally occupied area"). I forsøkene ble det observert et positivt bidrag til personsikkerheten – i form av at røykgasser ble presset ut av rommet ved utløst INERGEN-anlegg. Med bakgrunn i dette argumenteres det for at INERGEN er personsikkert ved korrekt dimensjonering.

### 7.3.3 Vurdering av sløkkeanlegg

Både sprinkler-, vanntåke og INERGEN-anlegg har fordeler og ulemper. Hvilken type anlegg som er mest hensiktsmessig å benytte må i hvert enkelt tilfelle vurderes. INERGEN-anlegg kan ha mange fordeler der det er ønskelig å bevare materielle verdier, men det må vurderes om slokkeeffekten og påliteligheten vil være tilstrekkelig, sett i sammenheng med lekkasjetall og påvirkning fra vind. En annen fordel er at det ved installasjon av INERGEN-anlegg kreves mindre rørføring og færre dyser enn for vanntåke og sprinkleranlegg, noe som i verneverdige bygg vil gi færre uønskede inngrep i byggverket. En ulempe ved INERGEN-anlegg er at flaskebanken krever en del plass. Det vurderes at resultatene i denne oppgaven gir indikasjoner på at INERGEN under de rette forhold kan være et godt alternativ til vannbaserte sløkkeanlegg.

## 7.4 Oppsummering av hypoteser mot funn

I dette delkapittelet vil hypotesene som ble introdusert i innledningen bli vurdert mot resultatene. Det vil bli vurdert om hypotesene består eller avkreftes:

1. *Ved høye lekkasjetall<sup>16</sup> vil ikke holdetid i primærrommet tilfredsstillende kravet på 10 minutter.*

Resultatene viser at slokkegassen tilfredsstillende kravet om holdetid ved lekkasjetall opp til 26,43 luftskift per time, selv om INERGEN-anlegget ikke var dimensjonert for ekstra lekkasjer. Det eneste lekkasjetallet som ikke ga tilfredsstillende holdetid var 32,66 luftskift per time. Hypotesen er delvis avkreftet, men må ses i sammenheng med usikkerhetene og feilkildene i denne oppgaven, samt resultatene knyttet til holdetid i *INERGEN* i *verneverdige bygninger* der holdetid ikke ble tilfredsstillende ved noen av forsøkene.

2. *Tiden med slokkekonsentrasjon i primærrom vil være lengre enn for vegghulrom, som igjen antas å ha lengre tid med slokkekonsentrasjon enn hulrom i etasjeskillet.*

Resultatene viser at det var en lengre tid med slokkekonsentrasjon i primærrom enn i vegghulrommene. Samtidig var tiden med slokkekonsentrasjon kortere i etasjeskillet sammenlignet med vegghulrommene. Hypotesen består.

3. *INERGEN kan bidra til å slokke brann i hulrom, selv der det ikke er installert dyser.*

De varme forsøkene viser at INERGEN vil ha slokkeeffekt i vegghulrom. Det er derimot ikke testet med en reell brann i etasjeskillet, men kalde forsøk tyder på at det oppnås en slokkekonsentrasjon i disse hulrommene også. Hypotesen består med forutsetning at slokkeeffekten i etasjeskillet undersøkes ytterligere.

4. *INERGEN vil slokke flammebrann i hulrom, men har mindre effekt på ulmebrann.*

Resultatene viser en klar slokkeeffekt mot flammebrann. Ulmebranner vil i motsetning ikke slokkes, men kun bli begrenset av INERGEN. Hypotesen består.

---

<sup>16</sup> Høye lekkasjetall er definert som lekkasjetall over 20 luftskift per time, se kapittel 5.3 *Bakgrunn og begrunnelser for valg av forsøksoppsett og utførelse*

## 7.5 Videre arbeid

Resultatene i denne oppgaven gir et grunnlag for å konkludere om INERGEN kan slokke brann i hulrom. Det er fortsatt flere forhold som må avdekkes for å gi et mer fullstendig bilde av slokkeeffekten og anleggets begrensninger. Med bakgrunn i diskusjonskapittelet gis følgende forslag til videre arbeid:

- Det foreslås å utføre flere forsøk for samme lekkasjescenarioer for å avdekke usikkerheten til forsøkene ytterligere.
- Det bør utføres forsøk med annet brensel og brennbare konstruksjonsmaterialer, for å undersøke om økt brannenergi og brannspredning vil ha innflytelse på slokkeeffekten.
- Det anbefales å gjøre forsøk med isolasjon i vegg og etasjeskiller, for å observere inntrengningsevnen til slokkegassen.
- Det bør utføres forsøk med brann i ulike høyder i veggulrommene, samt i etasjeskiller. Dette for å vurdere om slokkeanlegget vil ha tilstrekkelig effekt ved brannstart høyt i hulrom.
- Det er interessant å utføre forsøk med vindpåvirkning. Byggverk er normalt utsatt for ytre påvirkninger, og det er derfor nødvendig å ta hensyn til disse for å vurdere effekten det vil ha på slokkeeffekten.
- Det hadde være interessant å utføre fullskalaforsøk i et eksisterende byggverk, der det var mulig å plassere oksygenmålere i hulrom i konstruksjonen.
- Det bør avdekkes muligheter for overdimensjonering av INERGEN-anlegg eller bruk av etterflushing med Safe-air eller lignende løsninger, for å oppnå tilstrekkelig holdetid i eldre byggverk med store lekkasjetall.
- Det bør ses på effekten av INERGEN-anlegg i kombinasjon med passiv brannsikring i hulrom. Det kan være interessant å undersøke kombinasjonen av INERGEN og brannstopp i hulrom under ytterkledning.
- Det kan være interessant å undersøke mulighetene for å simulere strømmingen av INERGEN i CFD-programmer.

## 8 Konklusjon

Oppgaven hadde til formål å undersøke om et brannsløkkeanlegg med INERGEN ville ha tilstrekkelig sløkkeeffekt i hulrom. I de kalde forsøkene ble oksygenkonsentrasjonen målt, og det ble undersøkt hvor lenge INERGEN-gassen opprettholdt en sløkkedyktig konsentrasjon i både primærrom og hulrom. I de varme forsøkene ble sløkkeeffekten til gassen undersøkt. Funnene i litteraturstudien og den kvalitative kartleggingen bidro til å kartlegge omfanget og utforming av hulrom, noe som bidro til å avgjøre utformingen av forsøksoppsettet.

I litteraturstudien og den kvalitative kartleggingen fremkommer det at det ikke er en universell utforming av hulrom, grunnet forskjeller i forbindelse med ombygging og modernisering. Typiske plasseringer av hulrom er bak ytterkledning og påforet innervegg, i bjelkelag og stubbloft. Elektrisk materiell og føringer, samt rørføringer fra peis er tenkilder som ofte blir nevnt i sammenheng med hulrom. Branntekniske utfordringer i forbindelse med hulrom blir av flere brannvesen knyttet til spredning, lokalisering og sløkking.

Resultatene fra de kalde forsøkene, uten brann, viste at sløkegassen hadde lang holdetid i primærrømmet, der kravet til holdetid ble tilfredsstillt ved høye lekkasjetall på 26 luftskift per time. Dette kravet ble tilfredsstillt ved høyere lekkasjetall enn forventet i hypotese 1, som dermed blir delvis avkreftet.

Tiden med sløkekonsentrasjon under 15 vol% oksygen, varierte med plassering og høyde. Tid med sløkekonsentrasjon var lengst i primærrom, etterfulgt av hulrom i vegg og etasjeskillet. Hulrommet i etasjeskillet hadde korteste tid med sløkekonsentrasjon, mye grunnet massetettheten til INERGEN. Hypotese 2 består dermed på grunn av sammenhengen mellom tid med sløkekonsentrasjon og massetetthet, lekkasjetall og -konfigurasjon. For primærrom og hulrom i etasjeskiller var lekkasjetallet viktigste parameter for tid med sløkekonsentrasjon, mens lekkasjekonfigurasjonen var mest utslagsgivende i vegghulrommet.

Resultatene fra de varme forsøkene, med brann, viste at INERGEN vil ha sløkkeeffekt i vegghulrom, spesielt mot flammebrann. Sløkegassen hadde derimot mindre effekt mot ulming i brenselet, som reantente ved økt lufttilførsel da hulrommet ble åpnet. Dermed består hypotese 3 og 4. Under disse forsøkene ble det oppdaget at lekkasjekonfigurasjon hadde mindre betydning på sløkkeeffekten enn antydte i resultatene fra de kalde forsøkene.

Det bemerkes at resultatene i denne oppgaven må ses i sammenheng med et forholdsvis enkelt forsøksoppsett som ikke tar hensyn til hulromsfyll, brennbare konstruksjoner, samt at forsøkskonstruksjonen er beskyttet fra ytre påvirkninger.

Det konkluderes med at INERGEN kan benyttes for beskyttelse av eldre verneverdige bygninger fordi sløkegassen reduserer materielle skader i forbindelse med brann og brannvesenets innsats. Sløkegassen vil gi brannvesenet bedre forutsetninger ved å utsette brannforløpet, men det kreves likevel en målrettet sløkeinnsats for å slukke ulmebrann i hulrom.



## 9 Bibliografi

- [1] Kollegiet for brannfaglig terminologi, «Ordlister faguttrykk - Aggregattilstand,» KBT.
- [2] Kollegiet for brannfaglig terminologi, «Ordlister faguttrykk - Arnested,» KBT.
- [3] Kollegiet for brannfaglig terminologi, «Ordlister faguttrykk - Branncelle,» KBT.
- [4] Kollegiet for brannfaglig terminologi, «Ordlister faguttrykk - Brannseksjon,» KBT.
- [5] Store Norske Leksikon, «Inertgass,» SNL.
- [6] Store Norske Leksikon, «Joule,» SNL.
- [7] Southface Energy Institute, «Blower Door and Duct Pressure Testing for,» 07 2013. [Internett]. Available: <http://www.southface.org/wp-content/uploads/2016/07/blower-door-and-duct-pressure-testing-for-duct-envelope-tightness-verification-factsheet-2013.pdf>. [Funnet 06 02 2018].
- [8] Kollegiet for brannfaglig terminologi, «Ordlister faguttrykk - Lysbue,» KBT.
- [9] A. Steen-Hansen, J. P. Stensaas og S. Fjær, «Elektriske kabler og brannrisiko - branntekniske egenskaper til kabler, ledningssystemer og kapslinger,» SINTEF NBL as, Trondheim, 2012.
- [10] Store Norske Leksikon, «Pascal,» SNL.
- [11] N. Skumsvoll, «Forstår du egentlig hva takstmannen skriver?». *Agderposten Medier AS - Varden*.
- [12] O. C. Stenby, «Bygg og Bevar, Isolering av gulv mot kald kjeller,» 17 Oktober 2017. [Internett]. Available: <https://www.byggogbevar.no/enok/artikler/isolering-av-gulv-mot-kald-kjeller>. [Funnet 6 Februar 2018].
- [13] Store Norske Leksikon, «Tetraeder,» SNL.
- [14] B.-L. Svellingen og E. Kronheim, «Brann ved Nordåsvannet,» Bergensavisen, 02 01 2018. [Internett]. Available: <https://www.ba.no/bolig/nyheter/bones/brann-ved-nordasvannet/s/5-8-717658>. [Funnet 05 03 2018].
- [15] M. Myredal, «Slik slukket de brannen i Skostedet,» Bergensavisen, 14 03 2017. [Internett]. Available: <https://www.ba.no/bergen/bergen-sentrum/jobb/slik-slukket-de-brannen-i-skostredet/s/5-8-534892>. [Funnet 05 03 2018].

- [16] L. Brenden, «Reddet uerstattelige kulturverdier,» Brannmannen.no, 24 07 2015. [Internett]. Available: <http://brannmannen.no/brann/reddet-uerstattelige-kulturverdier/>. [Funnet 02 03 2018].
- [17] A. G. Løvjomås, «Hulrommet brenner - men kan brannvesenet slokke brannen?,» NTNU, Hamar, 2016.
- [18] S. Haram, «Uerstattelig inventar på Fossesholm Herregård vil ikke tåle feilutløste sprinklere : deltok på fullskala INERGEN-forsøk,» *Brann & Sikkerhet Nr.6*, pp. 18-21, 2011.
- [19] S. Herlin Walaker, L. A. Bergsager og B. Storstein, «INERGEN i verneverdige bygninger,» Høgskolen Stord/Haugesund, Haugesund, 2012.
- [20] K. Hox og A. B. Sæter, «Slokkemetode med lite vann,» Rise Fire Research, Trondheim, 2017.
- [21] R. Baastad, E. Hugnastad og P. M. Wichermann, «Brannbekjempelse med vanntåke i verneverdige bygninger,» Haugesund, 2014.
- [22] SINTEF Byggforsk, «612.010 Stilarter i arkitekturen fram til etterkrigstiden - hovedtrekk og eksempler,» November 2011. [Internett]. [Funnet 8 Februar 2018].
- [23] SINTEF Byggforsk, «723.304 Eldre laftede vegger. Metoder og materialer,» Februar 2017. [Internett]. [Funnet 19 Januar 2018].
- [24] T. Drange, Aanensen, H. Olaf og J. Brønne, Gamle Trehus - historikk, reoperasjon og vedlikehold, Oslo: Gyldendal undervisning, 2011.
- [25] SINTEF Byggforsk, «723.305 Eldre vegger av reisverk. Metoder og materialer,» februar 2017. [Internett]. Available: [https://byggforsk.no/dokument/676/eldre\\_vegger\\_av\\_reisverk\\_metoder\\_og\\_materialer](https://byggforsk.no/dokument/676/eldre_vegger_av_reisverk_metoder_og_materialer). [Funnet 23 april 2018].
- [26] SINTEF Byggforsk, «723.306 Eldre vegger av bindingsverk. Metoder og materialer,» februar 2017. [Internett]. Available: [https://byggforsk.no/dokument/3336/eldre\\_vegger\\_av\\_bindingsverk\\_metoder\\_og\\_materialer](https://byggforsk.no/dokument/3336/eldre_vegger_av_bindingsverk_metoder_og_materialer). [Funnet 23 april 2018].
- [27] SINTEF Byggforsk, «523.251 Bindingsverk av tre i småhus. Dimensjonering og utførelse,» april 2014. [Internett]. Available: [https://byggforsk.no/dokument/358/bindingsverk\\_av\\_tre\\_i\\_smaahus\\_dimensjonering\\_og\\_utf oerelse](https://byggforsk.no/dokument/358/bindingsverk_av_tre_i_smaahus_dimensjonering_og_utf_oerelse). [Funnet 23 april 2018].
- [28] SINTEF Byggforsk, «722.310 Trebjelkelag i eldre boligbygninger. Metode og materialer,» Februar 2017. [Internett]. [Funnet 18 Januar 2018].

- [29] O. C. Stenby, «Bygg og Bevar, Hva finnes i veggen? - Gårsdagens tette- og isolasjonsprodukter,» 14 November 2017. [Internett]. Available: <https://www.byggogbevar.no/enok/artikler/hva-finnes-i-veggen>. [Funnet 6 Februar 2018].
- [30] Norsk Standard, «NS-EN 15004-1:2008 Faste brannslukkesystemer. Gass-slukkesystemer. Del 1: Planlegging, installasjon og vedlikehold.,» Standard Online AS, 2008.
- [31] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) § 14-3. Minimumskrav til energieffektivitet,» 01 07 2017. [Internett]. Available: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3/>. [Funnet 06 02 2018].
- [32] Enova SF, «Biblioteker til energimerkeordningen oversikt over biblioteker,» 14 10 2009. [Internett]. Available: [https://www.energimerking.no/download?objectPath=/upload\\_images%2F574641C4E9AA466CA7F6751D69800FEA.pdf](https://www.energimerking.no/download?objectPath=/upload_images%2F574641C4E9AA466CA7F6751D69800FEA.pdf). [Funnet 06 02 2018].
- [33] Justis- og beredskapsdepartementet, «St.meld. nr. 35 (2008-2009) Brannsikkerhet Forebygging og brannvesenets redningsoppgaver,» 8 Mai 2009. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/stmeld-nr-35-2008-2009-/id559586/sec1>. [Funnet 5 Mars 2018].
- [34] Riksantikvaren, «Riksantikvaren, Fredet - vernet - verneverdig,» [Internett]. Available: <https://www.riksantikvaren.no/Fredning/Fredet-vernet-verneverdig>. [Funnet 8 Februar 2018].
- [35] SINTEF Byggforsk, «612.015 Bygningsvern. Lover, aktører og støtteordninger,» April 2017. [Internett]. [Funnet 8 Februar 2018].
- [36] B. C. Hagen, Grunnleggende Brannteknikk, Hagens Forlag, 2014.
- [37] Store Norske Leksikon, «frie radikaler,» SNL, 2017.
- [38] Fire Eater AS, «Control Inert Ci. Manual for UL listed extinguishing system,» Hillerød , 2013.
- [39] Society of Fire Protection Engineers, «Smoldering Combustion,» i *Handbook of Fire Protection Engineering 5th ed.*, Springer, 2016, pp. 581-600.
- [40] G. Rein, «Smoldering Combustion Phenomena,» BRE Centre of Fire Safety Engineering, Edinburgh, 2009.
- [41] D. Drysdale, An introduction to fire dynamics, Edinburgh: John Wiley and Sons, Ltd., Publications, 2011.
- [42] M. L. Janssens og B. Douglas, «Wood and Wood Products,» i *Handbook of Building Materials for Fire Protection*, The McGraw-Hill Companies, Inc, 2004.

- [43] K. L. Friquin, «Material properties and external factors influencing the charring,» *Fire and Materials - Volume 35, Issue 5*, pp. 303-327, 2011.
- [44] Sintef Byggforsk, Håndbok 5 Trehus, Oslo: SINTEF akademiske forlag, 2014, pp. 421-422.
- [45] S. Trä, G. Jensen og Ö. Birgit, «6 - Detaljlösningar och speciella konstruktioner,» i *Bränsikra Trähus*, Stockholm, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2012, pp. 125-146.
- [46] N. B. Mangen, «Brannsikkerhet i tett trehusbebyggelse - Bryggene i Kjøpmannsgata i Trondheim,» Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Fakultet for Ingeniørvitenskap og Teknologi, Trondheim, 2014.
- [47] G. Liebe, «7. Trekonstruksjoner,» i *Brann i bygg: Konstruksjoner, sikkerhet og taktiske vurderinger*, Oslo, Norsk Brannvernforening, 2016, pp. 112-121.
- [48] SINTEF Byggforsk, «752.135 Eldre regler for ildsteder og skorsteiner,» Januar 2017. [Internett]. [Funnet 6 April 2018].
- [49] P. J. DiNenno og E. W. Forsell, «Clean Agent Total Flooding Fire Extinguishing Systems,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering fifth edition*, New York, Springer-Verlag New York, 2016, pp. 1526-1527.
- [50] Direktoratet for byggkvalitet, «Innledning til kapittel 11 Sikkerhet ved brann,» 2017. [Internett]. Available: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/innledning/>. [Funnet 27 01 2018].
- [51] M. K. DBI, «INERGEN - Safe air full-scale test Skarpretter boligen,» Fire Eater A/S, Oslo, 2017.
- [52] Fire Eater AS, «User Guide for IMT Version 1.1.16,» Hillerød, 2007.
- [53] Opplysningskontoret for automatiske sløkkeanlegg, «Opplysningskontoret for automatiske sløkkeanlegg,» [Internett]. Available: <http://www.sløkkeanlegg.no/Sløkkeanlegg/Vanntake/Generelt>. [Funnet 3 april 2018].
- [54] D. I. Jacobsen, *Hvordan gjennomføre undersøkelser Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*, Kristiansand: Høgskoleforlaget, 2005.
- [55] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Brannstatistikk 2017 - Tall fra rapporteringsløsningen (BRIS) fra brann- og redningsvesenet til DSB,» Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Tønsberg, 2018.
- [56] RKI instruments, «03 Series: OX-03, CO-03, HS-03 Versions Operator's Manual,» 14 04 2017. [Internett]. Available: <http://www.rkiinstruments.com/pdf/71-0304.pdf>. [Funnet 04 04 2018].

- [57] Drägerwerk AG & Co., «Dräger X-am 2500 (MQG 0011) Technical Manual,» 11 2012. [Internett]. Available: <https://www.tgtechservices.com/wp-content/uploads/2016/02/X-am-2500-ENG-Manual.pdf>. [Funnet 04 04 2018].
- [58] Thermometrics, «Type K Thermocouple,» [Internett]. Available: <http://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>. [Funnet 23 mars 2018].
- [59] Nöding Messtechnik GmbH, «Digital contact gauge PM 82.4,» [Internett]. Available: <http://www.noeding-messtechnik.de/files/data-pm82-4-en.pdf>. [Funnet 20 april 2018].
- [60] O. Wormness og A. I. Vistne, «En vitenskapsteoretiker svarer på klassens spørsmål,» i *Kan vi stole på vitenskapen*, Cappelen forlag AS, ISBN 82-02-13436-6 , 1994, pp. 27-50.
- [61] Bygg og bevar, «Bygg og bevar,» [Internett]. Available: <https://www.byggogbevar.no/ressurser/bygningsvernsentre-og-fagmiljoe/haandkraft-forum-for-tradisjonshaandverk-paa-haugalandet>. [Funnet 11 mars 2018].
- [62] Standard Norge, «NS-EN 12845: Faste brannsløkkesystemer - Automatiske sprinklersystemer - Dimensjonering, installering og vedlikehold,» Standard Norge, 2015.

## Vedlegg

### Vedlegg A

#### IMT-rapport

# IMT V.2.2.3

<b>User</b>	Jørn Karlsen
<b>Printed</b>	22. februar 2018 kl 11.51 CET
<b>Filename</b>	HVL_testrom_resq.imt
<b>Company</b>	HVL
<b>Address</b>	Bjørnsøns gate 45
<b>ZIP &amp; City</b>	5528 Haugesund
<b>Your ref.</b>	
<b>Telephone No.</b>	
<b>Our reference</b>	Jørn Karlsen
<b>Information</b>	Testrom_Resq

## Inergen System Data

Fire Hazard		Flame ext	
Tee Design factor			
Safety factor applied			EN 15004
Minimum design conc.		41.5 %	

Cylinder Type	Inergen 50L steel cylinder		
Cylinder fill	15.0 C°		200.0 bar
Cylinder Storage	20.0 C°		205.4 bar
Temperature (Room)	10.0 C°		
Atmospheric pressure (Room)	1013.0 mbar		
Pressure relief resistance		0.3	

Room	1	2	3	Total
Name	Testrom			
Volume of room [m <sup>3</sup> ]	18.6			18.6
Actual conc. [%]	41.9			
Flooding [%]	54.3			
INERGEN [kg]	14.77			14.77
Final O <sub>2</sub> [%]	12.2			
Final CO <sub>2</sub> [%]	3.4			
Max flowrate [kg/sec]	0.36			0.36
Structural strength [Pa]	500			
Pressure relief [cm <sup>2</sup> ]	40.4			40.4

Cylinder quantity	1		pcs.
Pipe to Cylinder volume	1.1		%

Discharge time	120.0		Sec. to target
Target type	Inergen conc.		
Target	39.4 %		
Pipe type	Schedule 80 Galvanized API 5L Grade A or B steel pipe.		

## Pipe system

No	N1	N2	Elv	Start	End	Elb	Con	Usr	Noz	Room	L	vol	T	N/P	DN	Pres	Dia	M
MT_no1															15	196.1	3.5	
Pipe																70.1		
1	1	2	1.9	pP	pP	2			IN-15	1	4.1	18.6	100.0	17.7	15	67.3	5.6	0.086

Volume of pipe system 6.0E-4 m<sup>3</sup>  
 Min. Pipe working pressure. 70.0 bar

## Description

MT: Manifold  
 Pipe: Pipe system inlet  
 N1, N2 : Nodes start & end  
 Elv: Elevation m  
 Start: Which kind of fitting is the pipe START connected to  
 End: Which kind of fitting is the pipe END connected to  
 pP: Plain pipe  
 pB: Branch Tee  
 pR: Run Tee  
 Elb: Fitting Elbow Qty  
 Con: Fitting Connector Qty  
 Usr: Fitting user defined Qty  
 Noz: Nozzle type (IN-15, IN-20, ...)  
 Room: Room number 1-3  
 L: Length of pipe in meters m  
 Vol: Volume of room protected by this pipe. m<sup>3</sup>  
 T: Tee split ratio (pipe inlet/upstream pipe mass flow ratio) %  
 N/P: Nozzle to pipe Area ratio %  
 Dn: Nominal pipe size  
 Pres: Max pressure in pipe section at outlet bar  
 Dia: Diameter of orifice (Nozzle / Manifold) mm



## Nozzle calibration

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

Thread type : NPT

Node no.	Nozzle name	Nozzle type	Orifice mm <sup>2</sup>	Orifice diameter (1 hole)	Drill 6*	Oxygen level	Max nozzle flow rate	total IG-541 mass
			mm <sup>2</sup>	mm	mm	O <sub>2</sub> %	kg/s	kg
2	Nozzle1	IN-15	24.3	5.6	2.3	12.2	0.4	14.8

## Orifice

Thread type : NPT

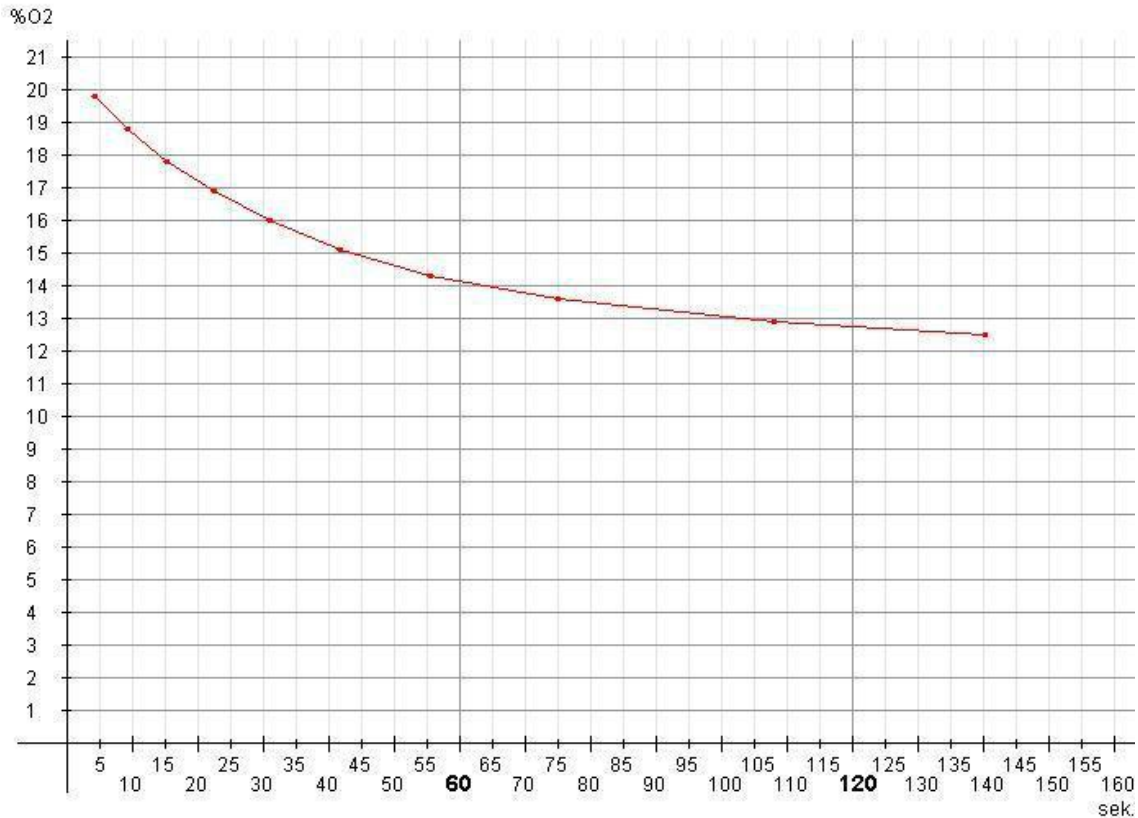
Orifice name	Orifice connections	Orifice diameter (mm)	Orifice type	Hose type
MT_no1	1	3.5	Ci-MT1 manifold	Hose DN10-400 0.5m to 2.0m

Calibration QA : \_\_\_\_\_ Date : \_\_\_\_\_

# Oxygen VS time

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	
<b>Time</b>	4.3	9.3	15.3	22.4	31.1	41.8	55.6	75.1	107.9	140.2	<b>Sec.</b>
<b>Testrom</b>	19.8	18.8	17.8	16.9	16.0	15.1	14.3	13.6	12.9	12.5	<b>% O<sub>2</sub></b>

## Room 1



## Calculation report

Hand wheel valve type: HWV Ø8mm type  
 Discharge valve type: CI-IV8 type

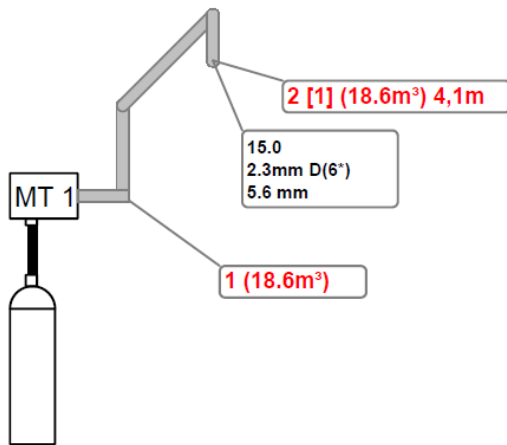
Calculation method: Calculated pipe & orifices  
 Calculation time: 22.feb.2018 11:51:23


Vendor: Fire Eater A/S  
 Program: IMT 2011 UL  
 IMT version: 2.2.3  
 Flow design engine: 2014-08-27  
 Room design engine: 2014-07-23

No errors during calculation.  
 No cautions during calculation.

### Warnings

The system is designed with a user defined pipe system working pressure equal to 70.0 barg. The user is responsible for ensuring a safe pipe pressure!



0	02.18	ISSUED FOR CONSTRUCTION		JK
Rev.	Date	Description		Sign.
Project:		Location:		System:
HVL		RESQ		INERGEN TESTROM
Address:				
	Date	Sign.	 Fire Eater Norge AS Raglamyrveien 22 5536 Haugesund	Comments:
Constr.				
Approved				
As built				
Scale			<b>FIRE EATER 1/2</b>	Drawing no.:
				Filename: HVL_testrom_resq.imt

## Vedlegg B

### Differansetrykktester



### TEST AV BYGNINGERS TETTHET

Testdato: 16.03.2018

Måleansvarlig: Audun Wiik

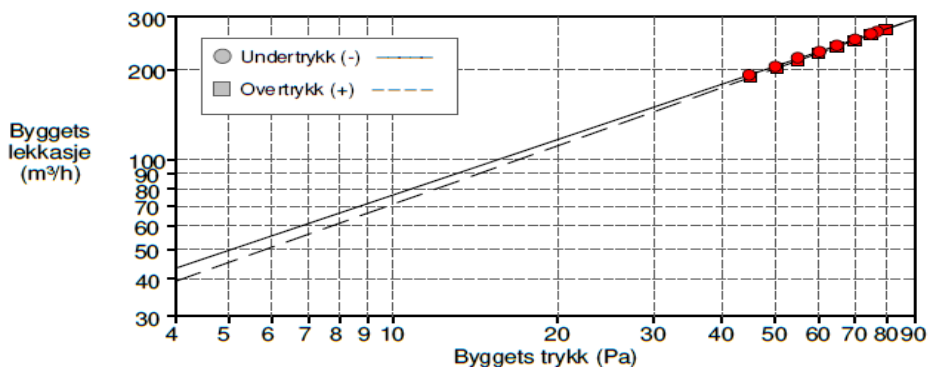
Testfil: Undertrykk & overtrykk 1-1

Oppdragsgiver: sindre fosnes, christian jelle sylte, nicola Bygningens adresse: Testoppsett Inergen  
HVL Skoleprosjekt Test 1-1

Norge - Haugesund  
Telefon:  
Fax:

	<u>Undertrykk</u>	<u>Overtrykk</u>	<u>Snitt</u>
<b>Testresultat ved 50 Pascal:</b>			
v50: Luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	205 ( +/- 0.2 %)	201 ( +/- 0.1 %)	203
n50: 1/h Luftsifte pr.time	11.10	10.88	10.99
w50:			
q50:			
<b>Lekkasjeareal:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	85.1 ( +/- 1.2 %)	79.2 ( +/- 0.7 %)	82.2
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	46.8 ( +/- 1.7 %)	42.3 ( +/- 1.0 %)	44.5
<b>Bygningens lekkasje kurve:</b>			
Luftmengdekoefisient (Cenv)	18.1 ( +/- 2.6 %)	15.7 ( +/- 1.5 %)	
Luftlekkasjekoeffisient (CL)	18.5 ( +/- 2.6 %)	16.0 ( +/- 1.5 %)	
EkspONENT	0.615 ( +/- 0.006 )	0.648 ( +/- 0.003 )	
Korrelasjonskoeffisient	0.99969	0.99991	
Test standard:	NS-EN 13829	Hvis annen testmetode er brukt:	
Testmetode:	B		
Benyttet utstyr:	Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor		

Innetemperatur:	5 °C	Volum:	19 m <sup>3</sup>
Utetemperatur:	5 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:			
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



## TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 16.03.2018 Testfil: Undertrykk & overtrykk 1-1

### Kommentarer

Awico.as har hatt som oppdrag og være med i et prosjekt for HVL, inne i en hall på Resq sitt område er det blitt laget et rom på 18.5m<sup>3</sup>, som HVL skal bruke til forskning av luftlekkasjer, og i forbindelse med inergen gass for slukking av eventuelle branner i hulrom.

Tetthetskontrollen er utført etter NS-EN ISO 9972 (arvtageren etter NS-EN 13829)

### Data: Undertrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.2	n/a				
-77.0	165.8	269	268	0.1	Ring C
-75.1	160.3	265	263	-0.0	Ring C
-70.2	147.8	254	252	-0.1	Ring C
-65.1	135.0	242	241	-0.1	Ring C
-60.5	123.1	231	230	-0.3	Ring C
-55.2	112.5	220	219	0.6	Ring C
-50.2	98.6	206	205	-0.3	Ring C
-45.0	87.1	193	192	0.0	Ring C
-0.3	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.0 p02- = -0.3 p02+ = 0.0

### Data: Overtrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.1	n/a				
79.5	172.2	275	272	0.2	Ring C
74.7	158.4	263	261	-0.2	Ring C
69.7	145.7	252	250	-0.0	Ring C
64.7	132.4	240	238	-0.2	Ring C
59.8	120.0	228	226	-0.1	Ring C
54.7	107.8	216	214	0.1	Ring C
50.2	96.1	203	202	-0.3	Ring C
44.9	84.4	190	189	0.2	Ring C
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.1

Testdato: 16.03.2018

Måleansvarlig: Audun Wiik

Testfil: Undertrykk &amp; overtrykk 1-5

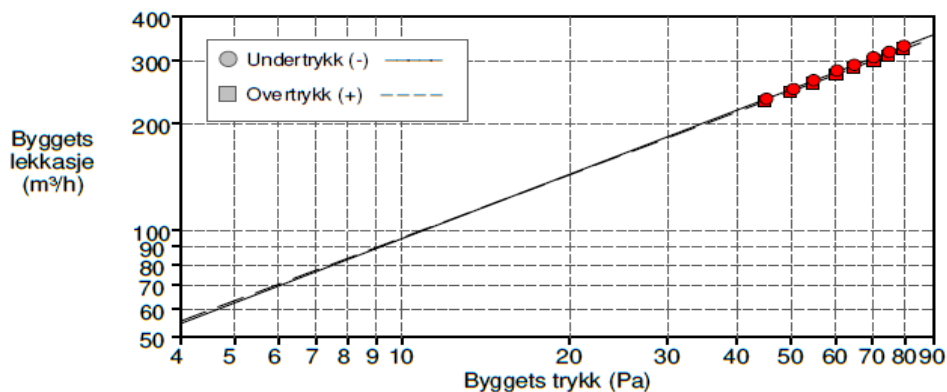
 Oppdragsgiver: sindre fornes, christian jelle sylte, nicola Bygningens adresse: Te stoppsett Inergen Skoleprosjekt Test 1-5  
 HVL

Norge - Haugesund

Telefon:

Fax:

	<u>Undertrykk</u>	<u>Overtrykk</u>	<u>Snitt</u>
<b>Testresultat ved 50 Pascal:</b>			
v50: Luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	250 ( +/- 0.2 %)	246 ( +/- 0.2 %)	248
n50: 1/h Luftsifte pr.time	13.52	13.32	13.42
w50:			
q50:			
<b>Lekkasjeareal:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	105.8 ( +/- 1.4 %)	106.4 ( +/- 1.0 %)	106.1
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	58.8 ( +/- 2.1 %)	59.8 ( +/- 1.5 %)	59.3
<b>Bygningens lekkasje kurve:</b>			
Luftmengdekoefisient (Cenv)	23.2 ( +/- 3.1 %)	24.0 ( +/- 2.2 %)	
Luftlekkasjekoeffisient (CL)	23.7 ( +/- 3.1 %)	24.5 ( +/- 2.2 %)	
EkspONENT	0.603 ( +/- 0.007 )	0.590 ( +/- 0.005 )	
Korrelasjonskoeffisient	0.99955	0.99976	
Test standard:	NS-EN 13829	Hvis annen testmetode er brukt:	
Testmetode:	B		
Benyttet utstyr:	Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor		
Innetemperatur:	5 °C	Volum:	19 m <sup>3</sup>
Utetemperatur:	5 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:			
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



## TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 16.03.2018 Testfil: Undertrykk & overtrykk 1-5

### Kommentarer

Awico.as har hatt som oppdrag og være med i et prosjekt for HVL, inne i en hall på Resq sitt område er det blitt laget et rom på 18.5m<sup>3</sup>, som HVL skal bruke til forskning av luftlekkasjer, og i forbindelse med inergen gass for slukking av eventuelle branner i hulrom.

Tetthetskontrollen er utført etter NS-EN ISO 9972 (arvtageren etter NS-EN 13829)

### Data: Undertrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.3	n/a				
-79.9	249.5	332	331	-0.1	Ring C
-75.2	231.9	320	318	-0.3	Ring C
-70.4	216.8	309	308	0.2	Ring C
-65.1	196.9	294	293	0.0	Ring C
-60.6	183.3	284	282	0.7	Ring C
-55.1	162.3	266	265	0.1	Ring C
-50.7	145.4	252	250	-0.5	Ring C
-45.4	128.4	236	235	-0.2	Ring C
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.3 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

### Data: Overtrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.2	n/a				
79.2	241.3	327	325	0.4	Ring C
74.3	221.6	312	311	-0.3	Ring C
70.1	206.9	302	300	-0.3	Ring C
64.5	188.4	288	286	-0.2	Ring C
59.9	173.9	276	275	-0.1	Ring C
54.5	156.1	261	260	-0.0	Ring C
49.5	140.3	247	246	0.1	Ring C
44.6	124.6	232	231	0.1	Ring C
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

Testdato: 16.03.2018

Måleansvarlig: Audun Wiik

Testfil: Undertrykk &amp; Overtrykk 3-5

Oppdragsgiver: sindre fosnes, christian jelle sylte, nicola Bygningens adresse: Testoppsett Inergen Skoleprosjekt Test 3-5

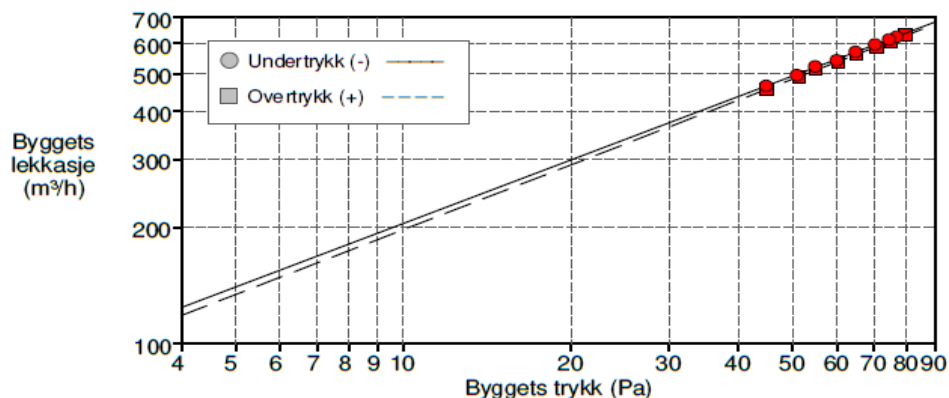
Norge - Haugesund

Telefon:

Fax:

	Undertrykk	Overtrykk	Snitt
<b>Testresultat ved 50 Pascal:</b>			
v50: Luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	494 (+/- 0.3 %)	484 (+/- 0.3 %)	489
n50: 1/h Luftsifte pr.time	26.69	26.18	26.43
w50:			
q50:			
<b>Lekkasjeareal:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	228.5 (+/- 1.6 %)	220.3 (+/- 1.9 %)	224.4
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	133.8 (+/- 2.4 %)	127.7 (+/- 2.9 %)	130.7
<b>Bygningens lekkasjeurve:</b>			
Luftmengdekoefisient (C <sub>env</sub> )	56.8 (+/- 3.6 %)	53.4 (+/- 4.3 %)	
Luftlekkasjekoeffisient (CL)	58.2 (+/- 3.6 %)	54.7 (+/- 4.3 %)	
Eksponent	0.547 (+/- 0.009)	0.558 (+/- 0.010)	
Korrelasjonskoeffisient	0.99924	0.99895	
Test standard:	NS-EN 13829	Hvis annen testmetode er brukt:	
Testmetode:	B		
Benyttet utstyr:	Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor		

Innetemperatur:	5 °C	Volum:	19 m <sup>3</sup>
Utetemperatur:	5 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:			
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		





## TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 16.03.2018 Testfil: Undertrykk & Overtrykk 3-5

### Kommentarer

Awico.as har hatt som oppdrag og være med i et prosjekt for HVL, inne i en hall på Resq sitt område er det blitt laget et rom på 18.5m<sup>3</sup>, som HVL skal bruke til forskning av luftlekkasjer, og i forbindelse med inergen gass for slukking av eventuelle branner i hulrom.

Tetthetskontrollen er utført etter NS-EN ISO 9972 (arvtageren etter NS-EN 13829)

### Data: Undertrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	viftetrykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.3	n/a				
-77.0	60.2	626	624	-0.0	Ring B
-74.6	58.2	615	614	-0.0	Ring B
-70.5	54.8	597	595	0.1	Ring B
-65.0	50.3	572	570	0.2	Ring B
-60.1	45.3	543	542	-0.7	Ring B
-55.0	42.2	524	523	0.7	Ring B
-51.1	38.0	498	496	-0.4	Ring B
-45.0	33.4	467	465	0.1	Ring B
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.3 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

### Data: Overtrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	viftetrykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.3	n/a				
79.4	61.6	633	631	0.5	Ring B
74.7	56.8	608	606	-0.2	Ring B
70.4	52.5	584	583	-0.8	Ring B
64.9	48.8	564	562	0.1	Ring B
60.1	44.5	538	537	-0.2	Ring B
54.7	40.7	515	514	0.6	Ring B
51.2	37.1	492	490	-0.3	Ring B
44.7	32.1	458	456	-0.0	Ring B
-0.2	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.3 p01+ = 0.0 p02- = -0.2 p02+ = 0.0

Testdato: 16.03.2018

Måleansvarlig: Audun Wiik

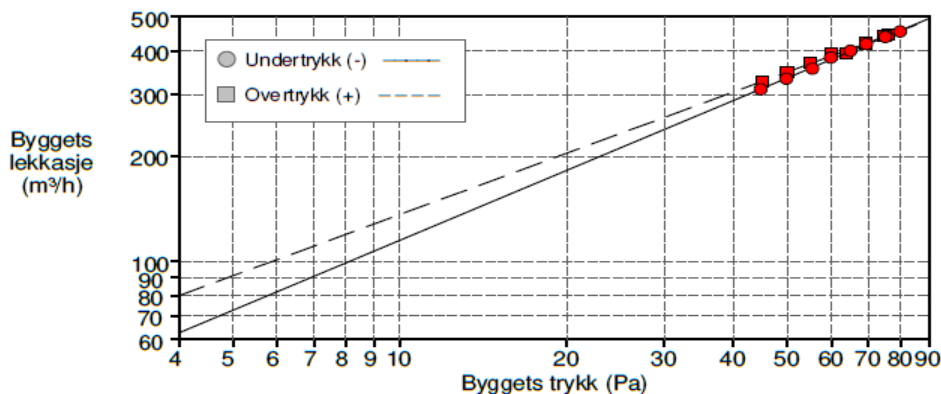
Testfil: Undertrykk &amp; overtrykk 5-1

Oppdragsgiver: sindre fosnes, christian jelle sylte, nicola Bygningens adresse: Testoppsett Inergen Skoleprosjekt Test 5-1

 Norge - Haugesund  
 Telefon:  
 Fax:

	Undertrykk	Overtrykk	Snitt
<b>Testresultat ved 50 Pascal:</b>			
v50: Luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	335 ( +/- 0.5 %)	348 ( +/- 0.6 %)	341
n50: 1/h Luftsifte pr.time	15.95	16.55	16.25
w50:			
q50:			
<b>Lekkasjeareal:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	128.5 ( +/- 2.8 %)	152.1 ( +/- 3.9 %)	140.3
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	67.6 ( +/- 4.2 %)	86.2 ( +/- 5.9 %)	76.9
<b>Bygningens lekkasjeurve:</b>			
Luftmengdekoefisient (C <sub>env</sub> )	24.6 ( +/- 6.3 %)	34.9 ( +/- 8.8 %)	
Luftlekkasjekoeffisient (CL)	25.0 ( +/- 6.3 %)	35.7 ( +/- 8.8 %)	
EkspONENT	0.663 ( +/- 0.015 )	0.582 ( +/- 0.021 )	
Korrelasjonskoeffisient	0.99845	0.99600	
Test standard:	NS-EN 13829	Hvis annen testmetode er brukt:	
Testmetode:	B		
Benyttet utstyr:	Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor		

Innetemperatur:	5 °C	Volum:	21 m <sup>3</sup>
Utetemperatur:	5 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:			
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



## TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 2

Testdato: 16.03.2018 Testfil: Undertrykk & overtrykk 5-1

### Kommentarer

Awico.as har hatt som oppdrag og være med i et prosjekt for HVL, inne i en hall på Resq sitt område er det blitt laget et rom på 18.5m<sup>3</sup>, som HVL skal bruke til forskning av luftlekkasjer, og i forbindelse med inngangen gass for slukking av eventuelle branner i hulrom.

Tetthetskontrollen er utført etter NS-EN ISO 9972 (arvtageren etter NS-EN 13829)

### Data: Undertrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.2	n/a				
-80.0	32.1	458	454	-0.6	Ring B
-75.2	29.9	442	438	-0.1	Ring B
-69.5	27.2	421	418	0.4	Ring B
-65.2	24.9	403	400	0.4	Ring B
-60.0	22.8	386	382	1.3	Ring B
-55.7	288.7	358	355	-1.0	Ring C
-49.9	253.9	335	333	-0.4	Ring C
-44.9	222.4	313	311	-0.2	Ring C
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

### Data: Overtrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.2	n/a				
75.9	30.6	447	445	0.2	Ring B
74.6	29.9	442	440	0.1	Ring B
69.0	27.2	421	420	-0.1	Ring B
63.5	23.8	394	392	-2.0	Ring B
59.8	345.0	393	391	1.2	Ring C
54.7	309.4	371	370	0.7	Ring C
49.8	273.2	348	347	-0.2	Ring C
44.9	242.6	328	326	-0.4	Ring C
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

Testdato: 26.04.2018  
 Testfil: Overtrykk & undertrykk 5-3

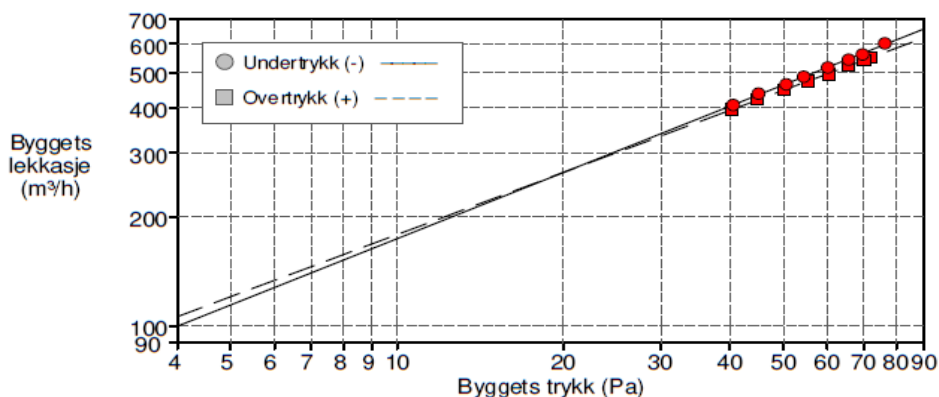
Måleansvarlig: Audun Wiik

Oppdragsgiver: sindre fosnes, christian jelle sylte, nicola Bygningens adresse: Testoppsett Inergen  
 HVL Skoleprosjekt Test 5-3

Norge - Haugesund  
 Telefon:  
 Fax:

	<u>Undertrykk</u>	<u>Overtrykk</u>	<u>Snitt</u>
<b>Testresultat ved 50 Pascal:</b>			
v50: Luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	462 ( +/- 0.3 %)	446 ( +/- 0.2 %)	454
n50: 1/h Luftskifte pr.time	24.95	24.13	24.54
w50:			
q50:			
<b>Lekkasjeareal:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	194.1 ( +/- 1.9 %)	199.3 ( +/- 1.2 %)	196.7
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	107.6 ( +/- 2.9 %)	114.3 ( +/- 1.8 %)	110.9
<b>Bygningens lekkjekurve:</b>			
Luftmengdekoefisient (Cenv)	42.4 ( +/- 4.4 %)	47.4 ( +/- 2.7 %)	
Luftlekkasjekoeffisient (CL)	43.1 ( +/- 4.4 %)	48.2 ( +/- 2.7 %)	
EkspONENT	0.606 ( +/- 0.011 )	0.569 ( +/- 0.007 )	
Korrelasjonskoeffisient	0.99904	0.99961	
Test standard:	NS-EN 13829	Hvis annen testmetode er brukt:	
Testmetode:	B		
Benyttet utstyr:	Modell 4 (230V) Minneapolis Blower door		

Innetemperatur:	9 °C	Volum:	19 m <sup>3</sup>
Utetemperatur:	9 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:			
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



## TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 26.04.2018 Testfil: Overtrykk & undertrykk 5-3

### Kommentarer

#### Data: Undertrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	viftetrykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.1	n/a				
-76.3	56.1	604	601	0.8	Ring B
-69.4	48.6	563	560	-0.6	Ring B
-65.6	45.5	544	542	-0.4	Ring B
-60.1	41.2	518	516	-0.1	Ring B
-54.4	36.5	488	486	-0.0	Ring B
-50.5	33.1	465	463	-0.4	Ring B
-45.0	29.5	439	437	0.8	Ring B
-40.5	25.5	408	407	0.0	Ring B
0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.1 p02- = -0.1 p02+ = 0.1

#### Data: Overtrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	viftetrykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.1	n/a				
71.9	46.8	552	550	0.3	Ring B
70.0	45.3	543	541	0.2	Ring B
65.6	41.8	521	520	-0.1	Ring B
60.4	37.6	495	493	-0.6	Ring B
55.5	34.5	474	473	-0.1	Ring B
50.1	30.7	447	446	-0.1	Ring B
44.9	27.2	422	420	0.2	Ring B
40.3	24.1	397	396	0.3	Ring B
0.0	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.1 p02- = -0.1 p02+ = 0.1

Testdato: 16.03.2018

Måleansvarlig: Audun Wiik

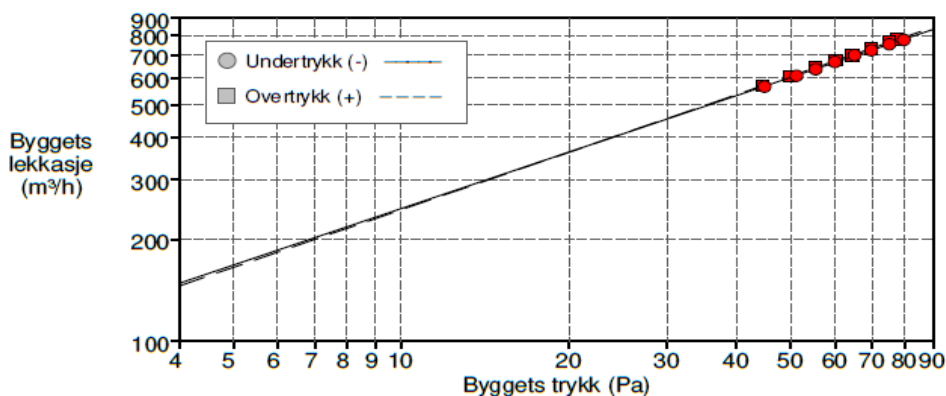
Testfil: Undertrykk &amp; Overtrykk 5-5

 Oppdragsgiver: sindre fosnes, christian jelle sylte, nicola Bygningens adresse: Testoppsett Inergen  
 HVL Skoleprosjekt Test 5-5

 Norge - Haugesund  
 Telefon:  
 Fax:

	Undertrykk	Overtrykk	Snitt
<b>Testresultat ved 50 Pascal:</b>			
v50: Luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	601 ( +/- 0.2 %)	607 ( +/- 0.1 %)	604
n50: 1/h Luftsifte pr.time	32.49	32.83	32.66
w50:			
q50:			
<b>Lekkasjeareal:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	274.7 ( +/- 1.2 %)	272.6 ( +/- 0.8 %)	273.6
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	159.6 ( +/- 1.9 %)	156.8 ( +/- 1.3 %)	158.2
<b>Bygningens lekkasje kurve:</b>			
Luftmengdekoefisient (Cenv)	67.1 ( +/- 2.8 %)	64.9 ( +/- 1.9 %)	
Luftlekkasjekoeffisient (CL)	68.7 ( +/- 2.8 %)	66.4 ( +/- 1.9 %)	
EkspONENT	0.555 ( +/- 0.007 )	0.566 ( +/- 0.005 )	
Korrelasjonskoeffisient	0.99956	0.99981	
Test standard:	NS-EN 13829	Hvis annen testmetode er brukt:	
Testmetode:	B		
Benyttet utstyr:	Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor		

Innetemperatur:	5 °C	Volum:	19 m <sup>3</sup>
Utetemperatur:	5 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:			
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



## TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 16.03.2018 Testfil: Undertrykk & Overtrykk 5-5

### Kommentarer

Awico.as har hatt som oppdrag og være med i et prosjekt for HVL, inne i en hall på Resq sitt område er det blitt laget et rom på 18.5m<sup>3</sup>, som HVL skal bruke til forskning av luftlekkasjer, og i forbindelse med inngangen gass for slukking av eventuelle branner i hulrom.

Tetthetskontrollen er utført etter NS-EN ISO 9972 (arvtageren etter NS-EN 13829)

### Data: Undertrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.1	n/a				
-79.9	93.5	779	776	-0.3	Ring B
-75.1	88.0	755	753	0.0	Ring B
-69.8	81.2	726	724	0.1	Ring B
-65.2	75.8	702	700	0.6	Ring B
-60.1	69.0	670	668	0.4	Ring B
-55.5	62.6	638	636	-0.0	Ring B
-51.3	57.2	610	608	-0.2	Ring B
-45.0	49.3	566	565	-0.2	Ring B
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

### Data: Overtrykk:

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Luftmengde justert for temperatur (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.2	n/a				
77.3	94.0	780	778	0.0	Ring B
75.0	91.1	768	766	0.2	Ring B
69.4	82.8	733	731	-0.2	Ring B
64.2	75.6	700	698	-0.3	Ring B
60.0	70.4	676	674	-0.0	Ring B
55.1	64.3	646	645	0.3	Ring B
49.8	57.1	609	607	0.1	Ring B
44.4	49.8	569	568	-0.2	Ring B
-0.1	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

Sted: Åkrehamn

Dato: 29.03.2018

Signatur:

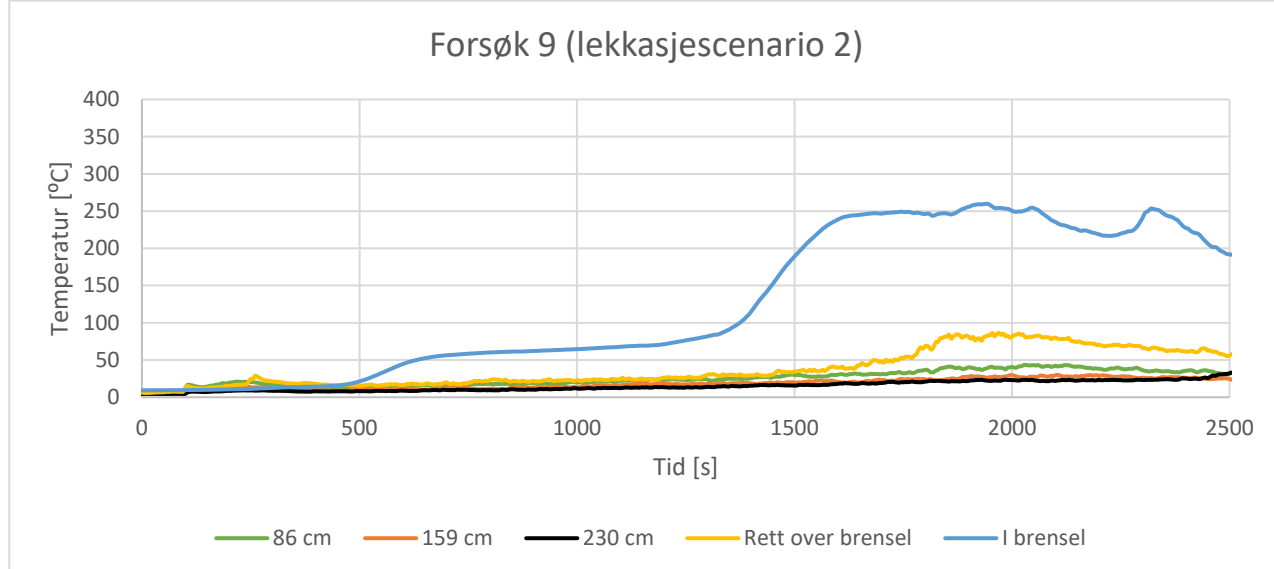
  
Audun Wiik

## Vedlegg C

### Varmer forsøk

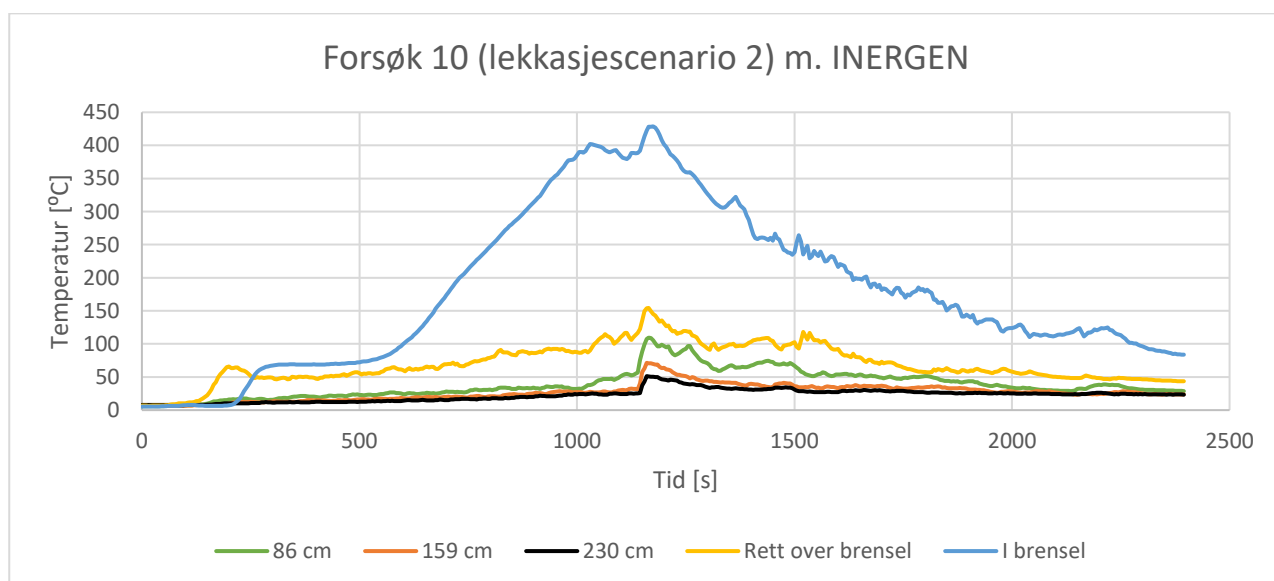
Forsøk 9:

Forsøk nr.	Lekkasjesenario	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]	Kommentar
9	2	Nei	1555	Fast stoff og heptan



Forsøk 10:

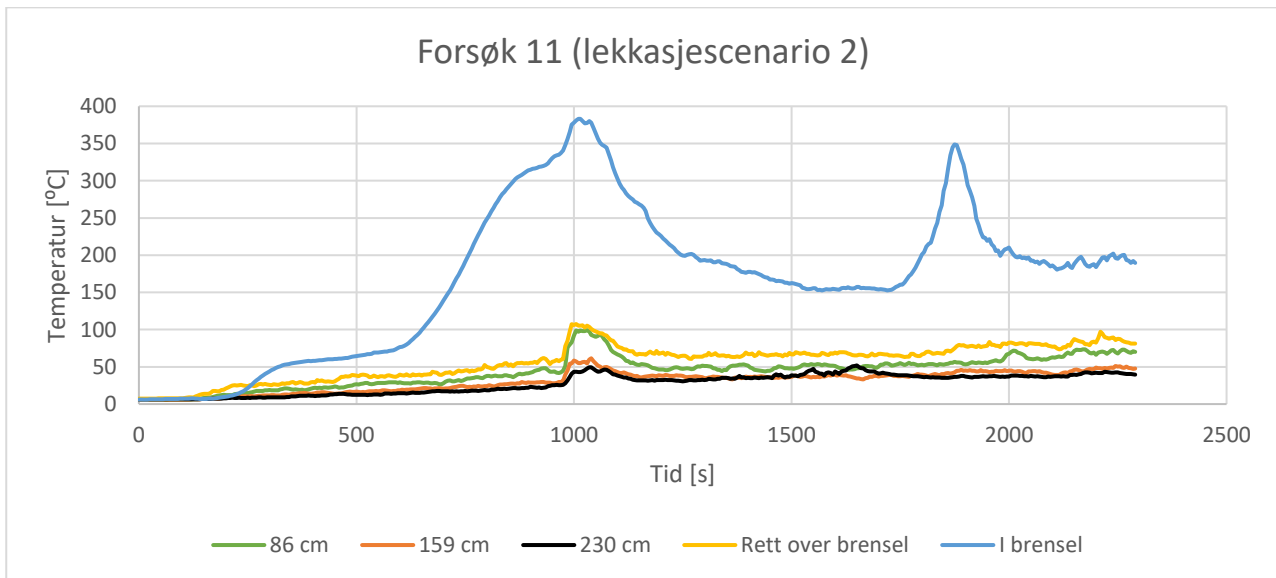
Forsøk nr.	Lekkasjesenario	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]	Kommentar
10	2	Ja	1060	Fast stoff og heptan





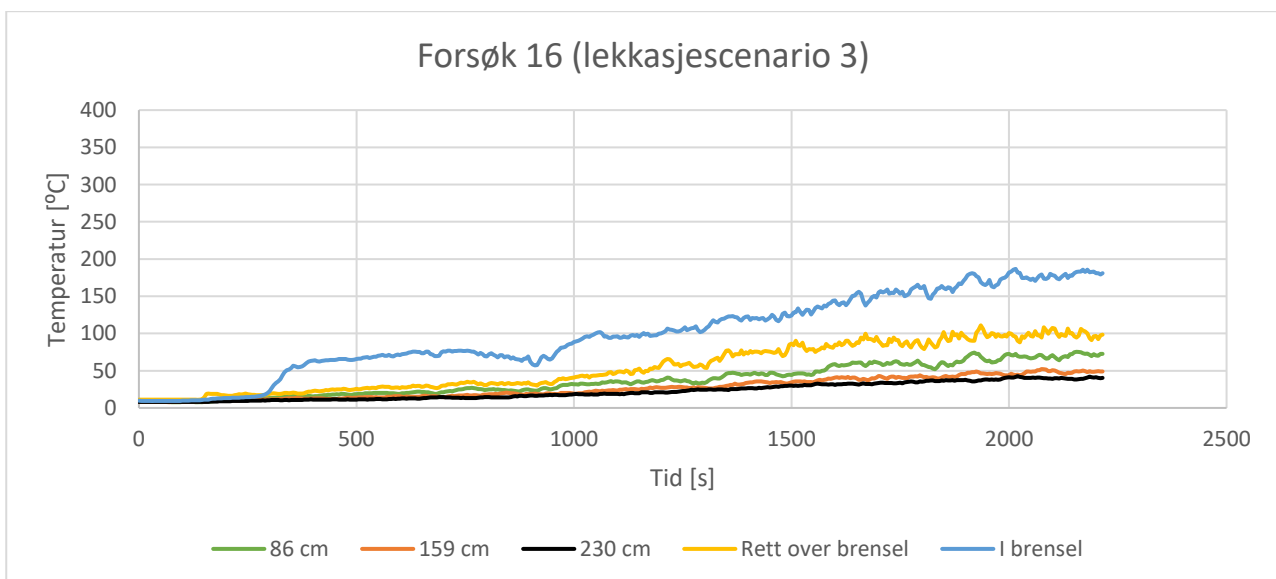
Forsøk 11:

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]	Kommentar
11	2	Nei	830	Fast stoff og heptan



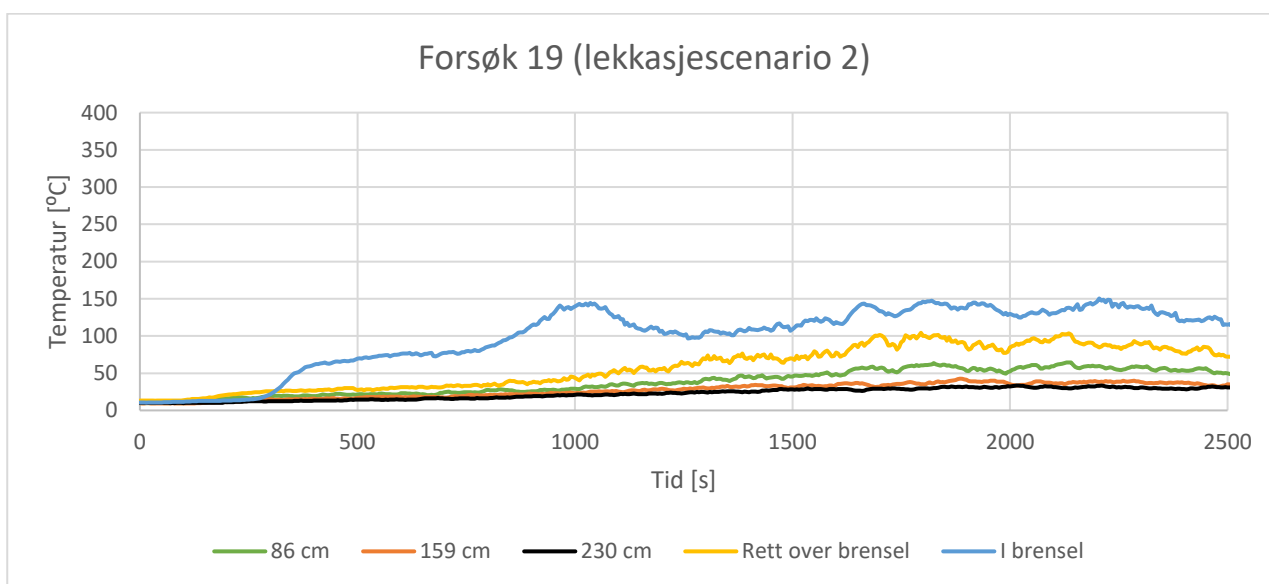
Forsøk 16:

Forsøk nr.	Lekkasjescenario	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]	Kommentar
16	3	Nei	1116	Fast stoff



Forsøk 19:

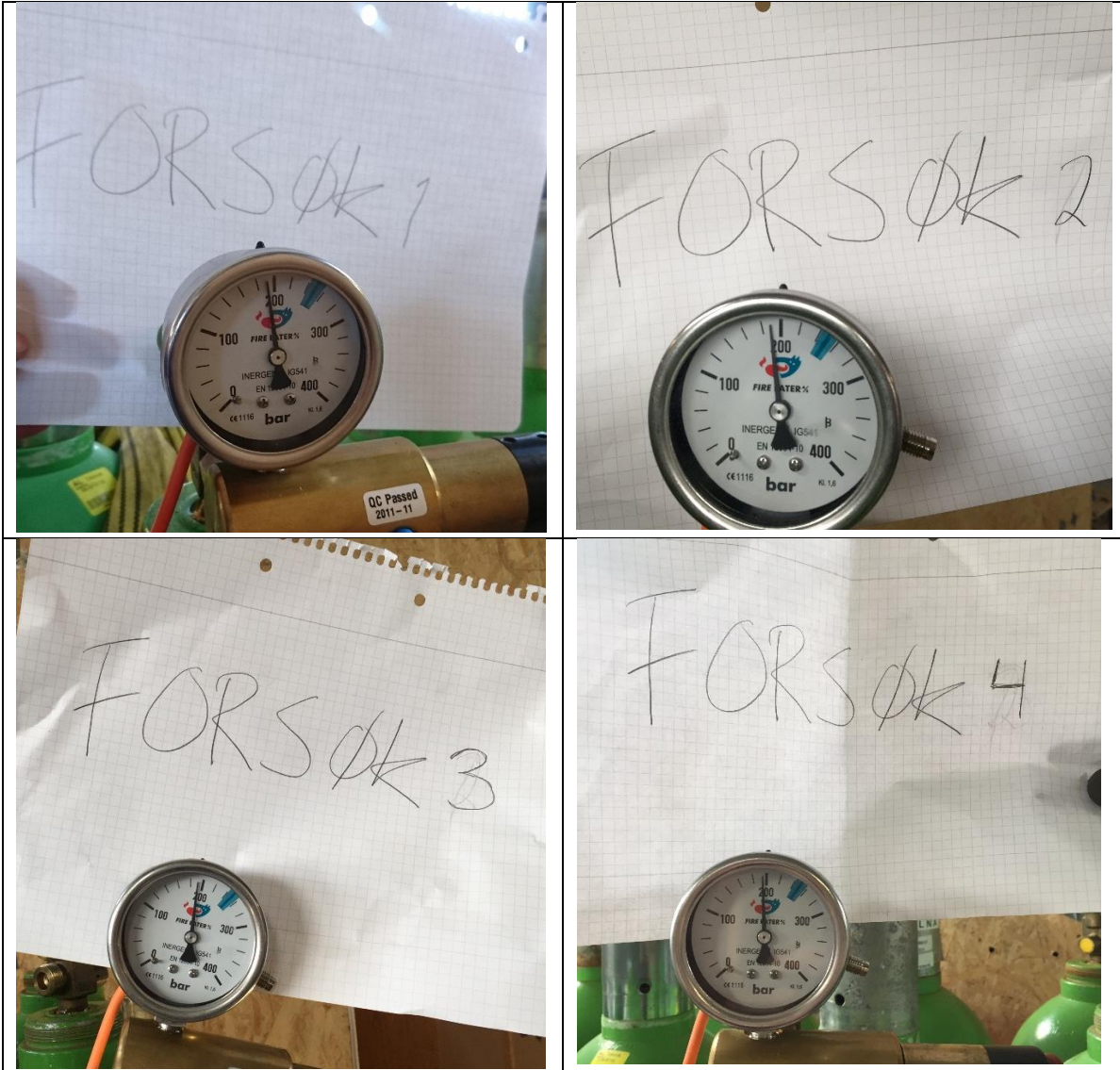
Forsøk nr.	Lekkasjescenario	INERGEN ja/nei	Tid til deteksjon [s]	Kommentar
19	2	Nei	1040	Fast stoff

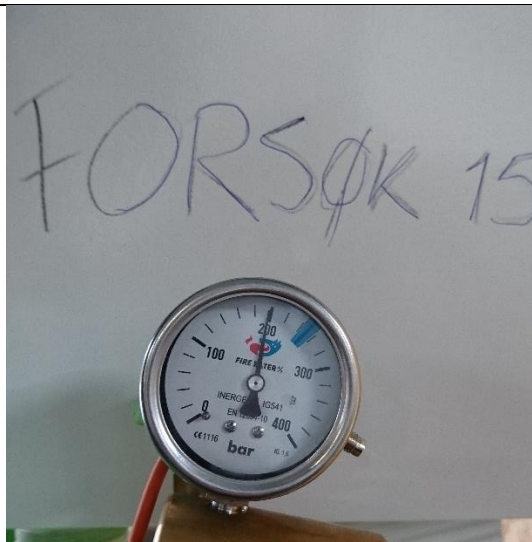
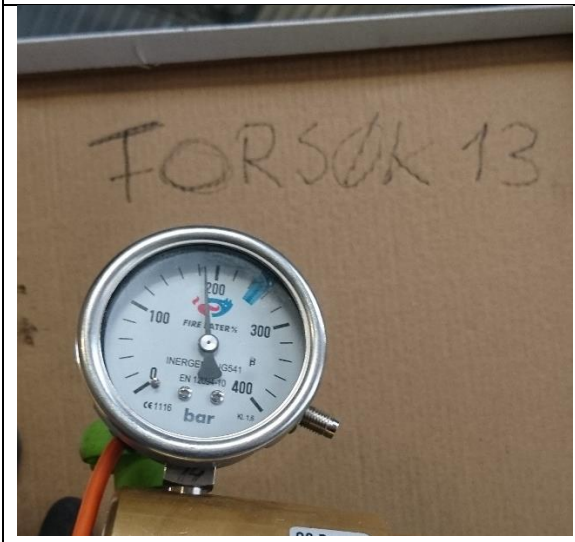
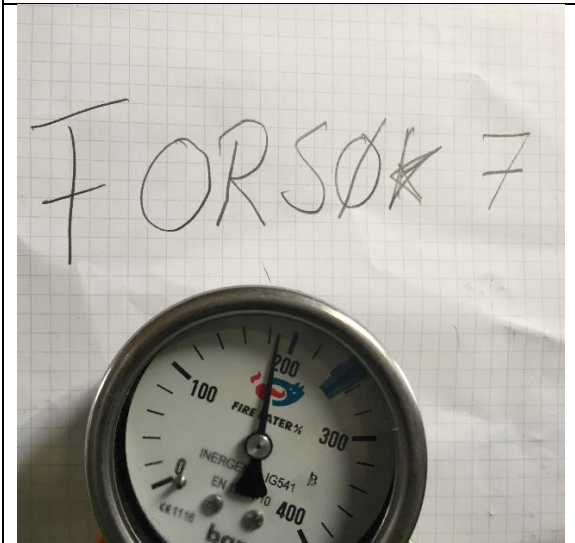
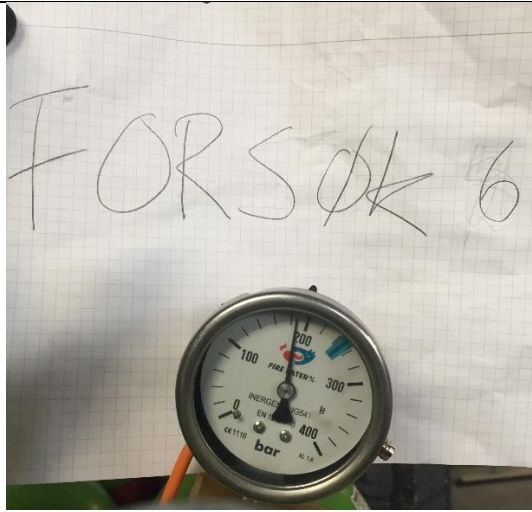
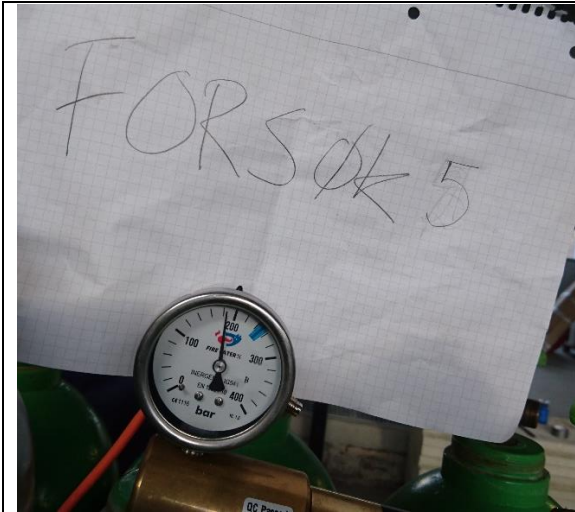


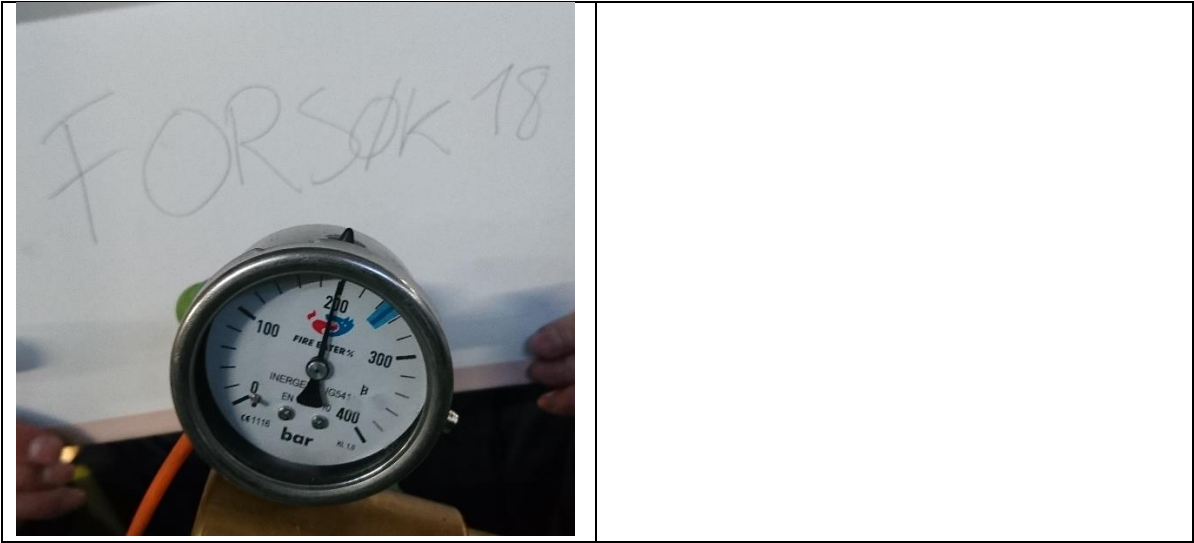
## Vedlegg D

### Flasketrykk for hvert forsøk

Vedlegg B er dokumentasjon for starttrykk på INERGEN-flasker for hvert forsøk.







## Vedlegg E

### Prosedyrer til forsøkene

#### Kalde forsøk

De kalde forsøkene ble gjennomført i henhold til prosedyren beskrevet i punktlisten under:

- Plassere eller fjerne teip for å oppnå rett lekkasjeareal
- Kontrollere at alle oksygenmålere er på og at de viser 20,9 % oksygennivå.
- Montere ventil til INERGEN-flasken og resette aktivator
- Døråpning tettes igjen med OSB-plate som skrus inntil tettelisten i konstruksjonen.
- Alle observatører plasseres ved de forskjellige oksygenmålerne med tabeller for utfylling av oksygenkonsentrasjon. (Max. 2 målere per observatør!)
- Lydsignal gis ved start av forsøk og utløsning av INERGEN skjer 20 sekunder etterpå.
- Observatører noterer ned oksygennivået på hver måler hvert 20. sekund etter lydsignal.
- Noteringen av oksygenkonsentrasjon avsluttes etter 20 minutter
- Platene til døråpningen og hulrom der oksygenmålere er plassert fjernes for å luften ut.
- Prosedyren over gjentas for alle lekkasjescenarioer.

#### Varme forsøk med INERGEN-utløsning

De varme forsøkene med INERGEN-utløsning ble gjennomført i henhold til prosedyren beskrevet i punktlisten under:

- Plassere eller fjerne teip for å oppnå rett lekkasjeareal.
- Kontrollere at alle oksygenmålere er på og at de viser 20,9 % oksygennivå.
- Montere ventil til INERGEN-flasken og resette aktivator
- Kontrollere at termoelementene er tilkoblet og riktig plassert.
- Plassere kamera inne i primærrom og starte opptak.
- Plassere røykdetektor i himling i primærrom.
- Døråpning tettes igjen med OSB-plate som skrus inntil tettelisten i konstruksjonen.
- Fylle kar med fast materiale (100 g trespon)
- Kar med materiale, stearin, netting og gipsbiter veies.
- Plassere kar med materiale inn i kassen, helt inntil innervegg i hulrommet i veggen.
- Tenner på faklene under tresponen.
- Kassen tettes igjen med en OSB-plate.
- Notering av observasjoner starter.
- Utløse INERGEN-anlegget når kriterier for utløsning er nådd.
- Forsøket avsluttes når forholdene har stabilisert seg.
- Platen på kassen åpnes og kar tas ut.
- Kar veies med og uten netting med trespon.
- Platen til døråpningen fjernes for å luften ut.
- Kontrollere at temperatur og oksygennivået er tilbake til normalt tilstand.
- Forsøket gjentas for alle valgte lekkasjescenarioer (2,3 og 5).

## Varme forsøk uten INERGEN-utløsning

De varme forsøkene uten INERGEN-utløsning ble gjennomført i henhold til prosedyren beskrevet i punktlisten under:

- Plassere eller fjerne teip for å oppnå rett lekkasjeareal.
  - Kontrollere at alle oksygenmålere er på og at de viser 20,9 % oksygennivå.
  - Kontrollere at termoelementene er tilkoblet og riktig plassert.
  - Plassere kamera inne i primærrom og starte opptak.
  - Plassere røykdetektor i himling i primærrom.
  - Døråpning tettes igjen med OSB-plate som skrus inntil tettelisten i konstruksjonen.
  - Fylle kar med fast materiale (100 g trespon)
  - Kar med materiale, stearin, netting og gipsbiter veies.
  - Plassere kar med materiale inn i kassen, helt inntil innervegg i hulrommet i veggen.
  - Tenner på faklene under tresponen.
  - Kassen tettes igjen med en OSB-plate.
  - Notering av observasjoner starter.
  - Forsøket avsluttes når forholdene har stabilisert seg.
  - Platen på kassen åpnes og kar tas ut.
  - Kar veies med og uten netting med trespon.
  - Platen til døråpningen fjernes for å lufte ut.
  - Kontrollere at temperatur og oksygennivået er tilbake til normaltilstand.
- Forsøket gjentas for alle valgte lekkasjescenarioer (2,3 og 5).

## Vedlegg F

### Befaringer

Befaringsobjekt	Adresse	Gnr/Bnr	Dato for befaring	Byggeår
Fosen	Fosnavegen 312	109/1	15.februar 2018	Ca.1850
Tysvær	Nedstrandsvegen 1420	149/3	19.februar 2018	Ca. 1880
Haugesund sentrum	Bjørnsonsgate 39	40/478	16.februar 2018	Før 1930 <sup>17</sup>
Haugesund sentrum	Årvik Gate 9	40/1088	16.februar 2018	Før 1840

### Fosnavegen 312

Sammen med Rune Johnsen og huseier var gruppen på befaring på et eldre trehus hus som var under søknadsprosess om å få innvilget rivningstillatelse. Under befaringen ble det undersøkt forhold vedrørende hulrom, el-anlegg, ildsted og lekkasjeåpninger.

I 1.etasje var det synlig bjelkelag i himlingen med golvbord på oversiden. Utforming med åpent takbjelkelag var vanlig på landsbygda i perioden dette bygget stammer fra. Stubbloft eller bjelkelag med himlingspanel var vanligere i mer bynære strøk. I dette bygget var etasjeskiller mellom 1.etasje og kjeller utført som stubbloft. Dette stubbloftet var fylt med isolasjon som bestod av mose.



Bildene viser hvordan elektriske kabler er ført gjennom konstruksjoner og hulrom.

Eieren av bygget opplyste om at det elektriske anlegget ble installert på 1950-tallet. Strømkablene er hovedsakelig ført på utsiden av vegger og tak, og består av eldre stoffkledde kabler samt kabler av nyere type. Kablene er også ført gjennom konstruksjonen flere steder og går gjennom potensielle hulrom i vegger, samt i hulrom bak panel som vist i bildene over.

<sup>17</sup> Dette fremkommer av Grunnboksinformasjon fra Statens kartverk



I et rom der det tilsynelatende ikke hadde blitt gjort moderniseringer, ble det avdekket hulrom i skråtaket. Skråtaket var kledd med panel og utlektet slik at det fantes et hulrom på omtrent 5-7 cm.



Bilde av utvendig kledning som flukter med grunnmur.

Utvendig kledning flukter med grunnmuren med liten mulighet for lufting. Et hull i hjørnet viser at det er et hulrom mellom ytterkledning og tømmerlaften på omtrent 7 cm, noe som tilsier at det er brukt en opplenger som beskrevet tidligere. Se bilde over.

Pipen i bygget er kun utført med én teglsteinsbredde mot brennbart materialer, mens kravet skal være dobbel teglsteinsbredde, evt. er det krav om utkragning i etasjeskiller for å hindre en temperaturøkning på mer enn 65 °C på utsiden av pipen (iht. Byggforsk datablad 752.135: *Eldre regler for ildsteder og skorsteiner*). Ingen av disse kravene er tilfredsstilt, noe som dermed medfører at dette er en uheldig brannteknisk løsning. Se bilde ved siden av.

Rune opplyser at modernisering ofte fører til nye hulrom ved at nye vegger blir utlektet utenpå den eksisterende tømmerkassen. Slike moderniseringer fantes ikke i dette byggverket,



Bilde av dårlig brannteknisk løsning av pipe.

men det ble observert mange glipper i både tak og vegg av ulik størrelse. Slike glipper er mulige spredningsveier for brann- og røykgasser.

### **Nedstrandsvegen 1420**

Det ble gitt tillatelse til å utføre befarings på et lite trehus på adressen Nedstrandsvegen 1420, med gårds- og bruksnummer 149/3. Huset tilhører Torger Stødle, som anslår at huset er fra siste halvdel av 1800-tallet – muligens 1880. Bygget ble ombygget på 1980-tallet, men tømmerkassen og mye av det opprinnelige ble beholdt. Dermed kan det antas at utformingen er relevant i henhold til problemstillingen i denne oppgaven. Innvendig består veggene av påfórede panelvegger utenpå tømmerkassen.

Under befaringsen, utført 19.februar, var fokusområdene hulrom og lekkasjeåpninger. Funnene viste at det var uisolerte hulrom med mellom 5-10 cm bredde, samt at det var en del lekkasjearealer inn til hulrommet. Lekkasjearealene var i form av glipper og hull i panelet, som vist i bildet over.



Bilde av lekkasjeåpninger inn til hulrom i veggkonstruksjon.

## Kontorbygg og nabobygg i tilknytning til HVL

Etter samtaler med Statsbygg ble det gitt tillatelse til å utføre befaring på to byggverk med tilknytning til høgskolen. Disse byggene er lokalisert på adresse Bjørnsonsgt.39 (Gnr/Bnr 40/478) og Årvik Gate 9 (Gnr/Bnr 40/1088). Forhold knyttet til hulrom, el-anlegg og lekkasjeåpninger ble undersøkt under befaring utført 16.februar.

### Bjørnsonsgate 39

Dette byggverket er et eldre trehus som har gjennomgått moderniseringer for å tilfredsstille krav slik at det kan brukes som kontorbygg av Statsbygg.

Under befaring ble det oppdaget et eldre el-anlegg som sannsynligvis stammer fra 1950-tallet, men dette var ikke i bruk siden de hadde oppgradert det elektriske anlegget. Se bilder ved siden av.



Bilder av utdatert elektrisk anlegg.

Det kan allikevel være et representativt bilde på hvilke anlegg som finnes i eldre byggverk der det elektriske ikke er blitt oppdatert i nyere tid.

Selv om bildene viser at el-anlegget er trukket utenpå panel, finnes det også gamle el-anlegg der kabler er trukket i hulrom – spesielt i forbindelsen mellom ulike etasjer. Et eksempel med kabler ført i hulrom ble oppdaget i en horisontal sjakt som lå opp mot etasjeskilleren mellom 1. og 2.etasje. Disse kablene var av en nyere type og utgjør dermed ikke samme brannfare som eldre kabler.

Det ble også oppdaget flere glipper i vegger. Dette kan gjøre at gasser kan spres inn til hulrom i konstruksjonen.

Det ble oppdaget hulrom i etasjeskilleren mellom kjeller og 1.etasje, der det var lagt takpanel utenpå bjelkelaget av tømmer, som vist i bildet ved siden av. Det antas at denne løsningen også er videreført oppover bygget, men det var ikke mulig å få tilgang til etasjeskilleren mellom 1. og 2.etasje.



Bilde av etasjeskiller mellom 1. og 2. etasje.

## Årvik Gate 9

Nabobygget til Statsbyggs kontorbygg ble også undersøkt. Dette bygget er et verneverdig våningshus med byggeår før 1840<sup>18</sup>. Bygget er påbygd i forskjellige perioder, noe som fører til mulige spredningsveier og hulrom i tilslutningen mellom de forskjellige delene av huset.

Bildet ved siden av viser hvordan hulrommene er orientert der det er takpanel i skråtaket i 2.etasje. I bakgrunnen ses utformingen av taksperrene, som er skjult av takpanelet i naborommet. Det vil dermed være hulrom med bredde på omtrent 55 cm og dybde på omtrent 15 cm.

Det ble også oppdaget hulrom i en veggkonstruksjon i 1.etasje. Etter sammenligning med naborommet er det antatt at hulrommet er på 3-5 cm.

Sammenligningsgrunnlaget fremkommer av at de to naborommene var nesten identiske, med unntak av at den ene veggen var foret ut. Veggen er lektet ut fra tømmerkassen fordi veggen ikke flukter med vinduskarmen, slik den gjør i naborommet. Det ble verifisert at det var hulrom bak panelet ved å høre forskjellen i lyden ved å banke på panelet. I naborommet var den tilsvarende veggen kledd med plater rett utenpå tømmerkassen.



Bildet viser hvordan hulrom over takpanel er utformet.

<sup>18</sup> Antydnet av Statsbyggansatt

## Vedlegg G

### Statistikk fra DSB

	Revidert hendelsestype	Dato anrop	Bygningens hovedfunksjon	Type bolig	Hendelsestedets bygningstype	Andre opplysning er om bygget - "1890-bygård"
1	Brann i bygning	23.12.2017	Bolig	Enebolig		
2	Brann i bygning	17.12.2017	Bolig	Småhus unntatt enebolig	Tomannsbolig, vertikaldelt	
3	Brann i bygning	17.12.2017	Bolig	Enebolig	Enebolig m/hybel/sokkelleil.	
4	Brann i bygning	01.12.2017	Annen næring		Kjøpesenter varehus	
5	Brann i bygning	29.11.2017	Bolig	Enebolig	Enebolig	
6	Brann i bygning	26.11.2017	Annen næring		Kontor- og adm.bygning rådhus	
7	Brann i bygning	14.11.2017	Bolig	Enebolig		
8	Brann i bygning	02.11.2017	Annen næring		Lagerhall	
9	Brann i bygning	31.10.2017	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
10	Brann i bygning	24.10.2017	Annen næring		Kontor- og adm.bygning rådhus	
11	Brann i bygning	23.10.2017	Bolig	Fritidsbolig		
12	Brann i bygning	19.10.2017	Bolig	Enebolig	Enebolig	
13	Brann i bygning	11.10.2017	Bolig	Enebolig	Enebolig	
14	Brann i bygning	09.10.2017	Annen næring		Kontor- og adm.bygning rådhus	
15	Brann i bygning	15.09.2017	Annen næring		Sykehus	
16	Brann i bygning	15.09.2017	Annen næring		Fabrikkbygning	
17	Brann i bygning	08.09.2017	Annen næring		Annen industribygning	
18	Brann i bygning	21.08.2017	Bolig	Småhus unntatt enebolig	Tomannsbolig, vertikaldelt	
19	Brann i bygning	15.08.2017	Bolig	Småhus unntatt enebolig		
20	Brann i bygning	13.08.2017	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
21	Brann i bygning	11.08.2017	Bolig	Boligblokk		
22	Brann i bygning	28.06.2017	Bolig	Boligblokk	Stort frittliggende boligbygg på 5 etg. el. n	
23	Brann i bygning	19.06.2017	Annen næring		Kontor- og adm.bygning rådhus	
24	Brann i bygning	13.06.2017	Annen næring			
25	Brann i bygning	07.06.2017	Annen næring		Kontor- og adm.bygning rådhus	
26	Brann i bygning	06.06.2017	Næring som fungerer som bolig		Lagerhall	
27	Brann i bygning	04.06.2017	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
28	Brann i bygning	30.04.2017	Annen næring		Annen industribygning	
29	Brann i bygning	30.04.2017	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
30	Brann i bygning	22.04.2017	Andre bygninger		Garasjeuthus annekst til bolig	
31	Brann i bygning	06.04.2017	Annen næring		Annen lagerbygning	
32	Brann i bygning	31.03.2017	Bolig	Enebolig	Helårsb.benyttet som fritidsb.	
33	Brann i bygning	23.03.2017	Bolig	Enebolig	Garasjeuthus annekst til bolig	
34	Brann i bygning	07.03.2017	Bolig	Enebolig	Våningshus	
35	Brann i bygning	24.02.2017	Bolig	Enebolig		
36	Brann i bygning	14.02.2017	Andre bygninger			
37	Brann i bygning	09.02.2017	Bolig	Boligblokk	Stort frittliggende boligbygg på 5 etg. el. n	
38	Brann i bygning	08.02.2017	Annen næring			
39	Brann i bygning	28.01.2017	Bolig	Enebolig	Enebolig	
40	Brann i bygning	15.01.2017	Bolig	Boligblokk	Annen forretningsbygning	
41	Brann i bygning	05.01.2017	Bolig	Enebolig		
42	Brann i bygning	02.01.2017	Annen næring		Annen industribygning	
43	Brann i bygning	30.12.2016	Annen næring		Annen bygning for overnatting	
44	Brann i bygning	30.12.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
45	Brann i bygning	28.12.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
46	Brann i bygning	26.12.2016	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	

	Andre opplysninger om bygget - Særskilt brannobjekt, jf BRL §13	Andre opplysninger om bygget - Vernet bygning	Andre opplysninger om bygget - Verneverdig bygning	Situasjonsbeskrivelse ved ankomst	Antatt arnested
1				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
2				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
3				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
4				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
5				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
6				Brann i del av arnestedsrom	Hulrom i konstruksjon
7				Spredning utover bygget	Hulrom i konstruksjon
8				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
9				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
10		Vernet bygning	Verneverdig bygning	Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
11				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
12				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
13			Verneverdig bygning	Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
14	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13		Verneverdig bygning	Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
15	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
16	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13				Hulrom i konstruksjon
17				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
18				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
19				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
20				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
21				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
22				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
23	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
24				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
25		Vernet bygning		Brann i del av arnestedsrom	Hulrom i konstruksjon
26				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
27				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
28	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
29				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
30				Spredning utover bygget	Hulrom i konstruksjon
31	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13		Verneverdig bygning	Brann sloknet/sloknet	Hulrom i konstruksjon
32				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
33					Hulrom i konstruksjon
34				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
35				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
36				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
37				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
38	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
39				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
40				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
41				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
42				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
43	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13		Verneverdig bygning	Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
44				Brann i del av arnestedsrom	Hulrom i konstruksjon
45				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
46				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon

	<b>Startet brannen som ulmebrann eller flammebran n?</b>	<b>Hva startet brannen i?</b>	<b>Spesi fiser</b>	<b>Hvor i bygget spredte røyken seg?</b>	<b>Hvor i bygget spredte brannen seg?</b>
1	Flammebrann	Ukjent		Spredning utover brannseksjonen	Spredning utover brannseksjonen
2	Vet ikke	Ukjent		Spredning utover brannseksjonen	Spredning utover brannseksjonen
3	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Ingen spredning utover branncellen	Spredning til hele branncellen
4	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
5	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
6	Ulmebrann	Annet utstyr		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
7	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover brannseksjonen	Spredning til flere brannceller
8	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
9	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
10	Ulmebrann	Elektrisk utstyr		Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
11	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
12	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
13	Vet ikke	Skorstein eller ildsted		Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
14	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
15	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
16		Vegg, gulv eller tak	Tak		
17	Ulmebrann	Annet startobjekt		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
18	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
19	Flammebrann	Annet utstyr		Spredning utover brannseksjonen	Spredning til hele branncellen
20	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover brannseksjonen	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
21	Flammebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
22	Flammebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
23	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover brannseksjonen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
24	Ulmebrann	Ukjent		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
25	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
26	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
27	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
28	Vet ikke	Elektrisk utstyr		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
29	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
30	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
31	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
32	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Tak	Spredning utover brannseksjonen	Spredning utover brannseksjonen
33		Vegg, gulv eller tak	Tak		
34	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Spredning til hele branncellen
35	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
36	Ulmebrann	Ukjent		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
37	Flammebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
38	Ulmebrann	Annet startobjekt		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
39	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
40	Ulmebrann	Skorstein eller ildsted		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
41	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
42	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
43	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning utover branncellen
44	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
45	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning til arnestedsrom
46	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)

	Revidert hendelsestype	Dato anrop	Bygningens hovedfunksjon	Type bolig	Hendelsestedets bygningstype	Andre opplysninger om bygget - "1890-bygård"
47	Brann i bygning	25.12.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig m/hybel/sokkelleil.	
48	Brann i bygning	23.12.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
49	Brann i bygning	30.11.2016	Bolig	Boligbrakke	Annen industribygning	
50	Brann i bygning	12.11.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
51	Brann i bygning	09.11.2016	Andre bygninger		Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
52	Brann i bygning	05.11.2016	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
53	Brann i bygning	03.11.2016	Bolig	Enebolig		
54	Brann i bygning	08.10.2016	Bolig	Enebolig	Tomannsbolig, horisontaldelt	
55	Brann i bygning	25.09.2016	Bolig	Enebolig		
56	Brann i bygning	15.09.2016	Bolig	Boligblokk	Stort frittliggende boligbygg på 5 etg. el. n	"1890-bygård"
57	Brann i bygning	24.08.2016	Annen næring		Sykehus	
58	Brann i bygning	05.08.2016	Annen næring			
59	Brann i bygning	01.08.2016	Annen næring			
60	Brann i bygning	31.07.2016	Bolig	Boligblokk	Stort frittliggende boligbygg på 3 og 4 etg	
61	Brann i bygning	26.06.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
62	Brann i bygning	03.06.2016	Annen næring		Annen lagerbygning	
63	Brann i bygning	29.05.2016	Annen næring		Annen skolebygning	
64	Brann i bygning	26.05.2016	Bolig	Enebolig		
65	Brann i bygning	12.05.2016	Annen næring		Butikk/forretningsbygning	
66	Brann i bygning	30.04.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
67	Brann i bygning	26.04.2016	Annen næring		Annen industribygning	
68	Brann i bygning	14.04.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
69	Brann i bygning	13.04.2016	Andre bygninger		Annen landbruksbygning	
70	Brann i bygning	17.03.2016	Annen næring		Lagerhall	
71	Brann i bygning	15.03.2016	Annen næring		Annen skolebygning	
72	Brann i bygning	29.02.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
73	Brann i bygning	27.02.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
74	Brann i bygning	30.01.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
75	Brann i bygning	27.01.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
76	Brann i bygning	24.01.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
77	Brann i bygning	22.01.2016	Annen næring		Kjøpesenter varehus	
78	Brann i bygning	20.01.2016	Andre bygninger		Hus for dyr/landbr.lager/silo	
79	Brann i bygning	19.01.2016	Bolig	Bygning for bofellesskap		
80	Brann i bygning	15.01.2016	Bolig	Enebolig	Våningshus	
81	Brann i bygning	14.01.2016	Bolig	Enebolig	Enebolig	
82	Brann i bygning	10.01.2016	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
83	Brann i bygning	08.01.2016	Bolig	Boligblokk	Stort frittliggende boligbygg på 5 etg. el. n	"1890-bygård"
84	Brann i bygning	07.01.2016	Bolig	Fritidsbolig	Fritidsbygg(hyttersommerh. ol	
85	Brann i bygning	15.02.2017	Bolig	Enebolig		
86	Brann i bygning	10.05.2016	Bolig	Bygning for bofellesskap		
87	Brann i bygning	20.09.2017	Annen næring		Barnehage	



	Andre opplysninger om bygget - Særskilt brannobjekt, jf BRL §13	Andre opplysninger om bygget - Vernet bygning	Andre opplysninger om bygget - Verneverdig bygning	Situasjonsbeskrivelse ved ankomst	Antatt arnested
47				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
48				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
49				Brann sloknet/sloknet	Hulrom i konstruksjon
50				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
51				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
52				Brann sloknet/sloknet	Hulrom i konstruksjon
53			Verneverdig bygning	Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
54				Brann i del av arnestedsrom	Hulrom i konstruksjon
55				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
56				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
57	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
58				Brann i del av arnestedsrom	Hulrom i konstruksjon
59	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
60				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
61				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
62				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
63	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
64				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
65			Verneverdig bygning	Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
66				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
67				Brann sloknet/sloknet	Hulrom i konstruksjon
68				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
69				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
70				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
71	Særskilt brannobjekt, jf BRL §13			Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
72				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
73				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
74				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
75				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
76				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
77			Område med verneverdig tett trehusbebyggelse	Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
78				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
79				Brann i del av arnestedsrom	Hulrom i konstruksjon
80				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
81				Bare røykutvikling	Hulrom i konstruksjon
82				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
83				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
84				Spredning i bygget	Hulrom i konstruksjon
85				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
86				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon
87				Brann i startfase	Hulrom i konstruksjon

	<b>Startet brannen som ulmebrann eller flammebran n?</b>	<b>Hva startet brannen i?</b>	<b>Spesi fiser</b>	<b>Hvor i bygget spredte røyken seg?</b>	<b>Hvor i bygget spredte brannen seg?</b>
47	Vet ikke	Ukjent		Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning til arnestedsrom
48	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
49	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Tak	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning utover branncellen
50	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
51	Ulmebrann	Annet startobjekt		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
52	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
53	Vet ikke	Skorstein eller ildsted		Spredning utover brannseksjonen	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
54	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning utover brannseksjonen
55	Vet ikke	Skorstein eller ildsted		Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning til arnestedsrom
56	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
57	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover brannseksjonen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
58	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
59	Flammebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
60	Vet ikke	Ukjent		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
61	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
62	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
63	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
64	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
65	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
66	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
67	Vet ikke	Ukjent		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
68	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
69	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
70	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
71	Vet ikke	Ukjent		Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
72	Vet ikke	Ukjent		Spredning utover brannseksjonen	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
73	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Spredning til hele branncellen
74	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
75	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover brannseksjonen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
76	Ulmebrann	Skorstein eller ildsted		Spredning utover brannseksjonen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
77	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Gulv	Ingen spredning utover branncellen	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
78	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Tak	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
79	Vet ikke	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning til hele branncellen
80	Ulmebrann	Skorstein eller ildsted		Spredning utover branncellen (innenfor brannseksjonen)	Spredning utover arnestedsrom (i branncellen)
81	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Spredning til hele branncellen
82	Flammebrann	Skorstein eller ildsted		Ingen spredning utover branncellen	Spredning til arnestedsrom
83	Ulmebrann	Vegg, gulv eller tak	Vegg	Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
84	Vet ikke	Ukjent		Spredning utover brannseksjonen	Spredning til hele branncellen
85	Ulmebrann	Elektrisk utstyr		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
86	Ulmebrann	Elektrisk utstyr		Ingen spredning utover branncellen	Ingen spredning utover arnestedsubjektet
87	Vet ikke	Elektrisk utstyr		Ingen spredning utover branncellen	Spredning til hele branncellen